VIEWS IS SHOWN

Anleitung

zum

Selbststudium der Optik.

Nach dem Book of Science

von

J. Sporschil.

Mit 49 Abbildungen.

Zweite Auflage.

Leipzig,
Verlag der Expedition des Pfennig=Magazins.
(F. A. Brockhaus.)
1839.

Inhalt.

Seite

Durchsichtigkeit der Körper 5
Phosphoresciren 7
Leuchten des Meeres 9
Emanation des Lichtes 11
Undulation des Lichtes 13
Verminderung der Lichtstärke 15
Geschwindigkeit des Lichtes 17
Abirrung der Fixsterne 19
Schatten 21

	Seite
Farbiger Schatten	23
Reflexion des Lichtes	25
Planspiegel	27
Kaleidoskop	29
Atmosphärische Reflexion	31
Lufterscheinungen	33
Fata Morgana	35
Converspiegel	37
Wirkungen der Hohlspiegel	43
Optische Täuschungen	45
Anamorphosen	47
Brechung des Lichtes	49
Atmosphärische Refraction	51
Wirkungen durchsichtiger Platten	53
Linsen	55
Convexe Linsen	57
Concave Linsen	61
Sehorgane	63
Das Auge	65
Theorie des Sehens	67

Seite

Sehwinkel 71
Fernsicht 73
Dauer des Lichteindruckes 75
Das Phantasmoskop 77
Unempfindlicher Punkt des Auges 79
Prismatisches Farbenbild 81
Emanationstheorie 83
Undulationstheorie 85
Chromatische Reflexion 87
Chromatische Diffraction 89
Zerstreuende Kräfte im Körper 91
Achromatische Linsen 93
Ursachen des Regenbogens 97
Bildung des Regenbogens 99
Optische Instrumente 101
Brillen 103
Langsichtige und Kurzsichtige 105
Das Mikroskop 107
Das Fernrohr 109
Spiegelfernrohr 111

	Seite
Camera obscura	113
Sonnenmikroskop	115
Doppelte Brechung des Lichts	117
Polarisirung des Lichts	119

Optik.

Optik.

Zu den großen Quellen unserer Erkenntniß der Werke der Natur gehört die Fähigkeit oder der Sinn des Gesichtes oder des Sehens, dem wir die Wahrnehmung des Lichtes und der Farben, und die Mittel verdanken, über die Formen und das Äußere der zahlreichen uns umgebenden Körper zu urtheilen. Die äußerst merkwürdigen, interessanten und wichtigen Erscheinungen, womit wir dergestalt bekannt werden, bilden die Gegenstände der Wissenschaft der Optik*) oder der Theorie vom Lichte

*) Von dem Griechischen Ὄπτομαι, sehen.

und vom Sehen. Dieser Zweig der Naturlehre liefert Stoff zu Forschungen unter folgenden Gesichtspunkten: 1) in Betreff der allgemeinen Eigenschaft des Lichtes und seiner Wirkung auf die Organe des Sehens; 2) in Betreff der Zurückstrahlung des Lichtes von den Oberflächen der Körper; 3) in Bezug auf die Brechung des Lichtes, oder auf die Veränderung, die es erleidet, wenn es durch durchsichtige Körper geht; 4) in Hinsicht auf die Erscheinungen der Farben; 5) in Betreff gewisser Modificationen des zurückgestrahlten oder gebrochenen Lichtes, welche als Ergebniß der Polarisation des Lichtes betrachtet worden sind.

Unter der Menge von Körpern, die wir wahrzunehmen vermögen, sind einige durch ihr eignes Licht sichtbar und heißen leuchtende Körper; andere dagegen besitzen keine selbstleuchtende Eigenschaft, und können nur durch das Licht, welches jene gewähren, gesehen werden. Die leuchtenden Körper sind theils ursprüngliche und andauernde Quellen des Lichts, wie die Sonne, die Fixsterne und vielleicht auch die Kometen; theils leuchten sie nur unter gewissen Umständen, insbesondere während des Prozesses des Verbrennens, wie z. B. wenn kleine Theilchen Stahl durch heftigen Zusammenstoß mit dem Feuersteine losgeschlagen werden, oder bei dem gewöhnlichen Prozeß des Brennens einer Kerze, des Öls in der Lampe, des Kohlengases.

Alle Körper, welche den Durchgang des Lichtes nicht unterbrechen, oder durch die man andere Körper sehen kann, heißen durchsichtige oder transparente*) Körper; diejenigen, welche den Durchgang des Lichtes gänzlich verwehren, heißen undurchsichtige Körper; diejenigen endlich,

*) Von trans, jenseits oder durch und parens, scheinend, Diaphan ist synonym, und kömmt von dem Griechischen Διαφανής, durchscheinend oder durchleuchtend.

durch welche man andere Körper nur dunkel und unvollkommen sehen kann, heißen halbdurchsichtige oder semitransparente Körper. Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit hängen jedoch sehr von der bezüglichen Dicke oder Dünnheit der Substanzen ab; denn selbst die Luft, welche dem Durchgange des Lichts weniger Hindernisse in den Weg legt, ist nicht vollkommen durchsichtig, und auch das dichteste Metall wird den Einfluß des Lichtes nicht gänzlich verwehren. Es ist berechnet worden, daß die Atmosphäre, wenn die Strahlen der Sonne senkrecht durch sie gehen, $1/5$ bis $1/4$ ihres Lichtes hemmen; wenn jedoch die Sonne im Horizonte steht, folglich die Luftmasse, welche die Sonnenstrahlen durchdringen müssen, an Dicke außerordentlich zugenommen hat, kann nur $1/212$ ihres Lichtes die Oberfläche der Erde erreichen. „Durch eine besondere Anwendung meines Photometers (Lichtmessers)" sagt Sir John Leslie, „habe ich gefunden, daß die Hälfte des auffallenden Lichtes, das ein Luftfeld von gewöhnlicher Dichtigkeit und $15 1/2$ (engl.) Meilen Durchmesser durchdränge, in dem klarsten Meereswasser nur bis zu einer Tiefe von 15 Fuß dringen würde, welches daher 5400 Mal weniger durchsichtig ist, als das atmosphärische Medium. Das Wasser seichter Seen jedoch, obschon dem Anscheine nach nicht trübe, zeigt eine größere Undurchsichtigkeit, sodaß das senkrecht auffallende Licht, obschon es nur durch einen Raum von sechs, ja selbst von zwei Fuß niedersteigt, um die Hälfte vermindert wird. Dasselbe Maaß der Verschluckung (Absorption) würde bei dem Durchgange des Lichts durch 2 oder 3 Zoll dickes, schönes Glas stattfinden, welches daher 500,000 Mal minder durchsichtig ist, als eine gleiche Masse Luft, oder 300 Mal minder durchsichtig als eine gleiche Masse jener Flüssigkeit. Aber selbst das Gold ist transparent. Wenn man ein Blatt dieses Metalls, entweder rein oder mit $1/80$ Legirung, das mithin einen schönen gelben Glanz hat, aber $1/300000$ eines Zolles an Dicke kaum überschreitet, zwischen zwei dünne Glimmerplättchen

faßt und gerade vor das Auge dem Fenster gegenüber hält, so wird ein sanftes grünes Licht, gleich den Farben des Meerwassers oder eines klaren Sees von mäßiger Tiefe durchscheinen. Diese grünliche Farbe läßt sich leicht von dem blos weißen Lichte unterscheiden, welches durch wirkliche Löcher oder zerrissene Theile des Blättchens geht. Gerade diese Farbe ist es auch, welche das Gold zeigt, wenn es flüssig aus einem Schmelztopfe gegossen wird. Ein Blättchen blasses Gold, oder solches, das mit $1/_{30}$ Silber legirt ist, läßt eine Azurfarbe durch; wir dürfen daher mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß Silber, wenn es auf einen gehörigen Grad von Dünnheit gebracht werden könnte, purpurn durchscheinen würde. Diese edlen Metalle wirken daher auf weißes Licht genau sowie Luft und Wasser, indem sie die rothe und orangengelbe Farbe, welche zu derselben gehören, verschlucken, wohl aber die aneinander grenzenden grünen und blauen Farben durchlassen. Wenn das gelbe Blättchen nur $1/_{10}$tel des ganzen auffallenden Lichtes durchließe, müßten wir schließen, daß reines Gold 250,000 Mal minder durchscheinend sei als durchsichtiges Glas. Die geringe Dehnbarkeit der übrigen Metalle gestattet jenes äußerste Plattschlagen nicht, welches erforderlich wäre, um das Durchlassen des Lichtes zu zeigen. Man kann jedoch auf ihre durchscheinende Eigenschaft aus den eigenthümlichen Farben schließen, die sie den durchgelassenen Strahlen mittheilen, wenn sie mit Gold legirt worden sind. Auch andere Substanzen, die man gewöhnlich zu den undurchsichtigen rechnet, lassen Licht in verschiedenen Verhältnissen durch. Wenn das Fenster eines kleinen Gemaches mittelst eines Bretes aus Tannenholz wohl verschlossen wird, und die darin sich befindliche Person ihre Augen für einige Minuten schließt, um sie für jeden Eindruck desto empfänglicher zu machen, so wird sie, wenn sie dieselben wieder öffnet, durch das Fenster leicht einen schwachen Schimmer gewahren. Wenn man dieses Bret dünner hobelt, wird allmählig mehr Licht

eindringen, bis das Zimmergeräthe sichtbar wird und vielleicht auch ein großer Druck gelesen werden kann. Schreibpapier läßt ungefähr den dritten Theil des ganzen auffallenden Lichtes durch und vertritt, in Öl getränkt, in geringen Werkstätten zuweilen die Stelle des Glases. Die Hinzufügung des Öls vermehrt indessen die durchsichtige Eigenschaft des Papieres selbst nicht, sondern macht nur dessen innern Bau regelmäßiger und einer Flüssigkeit ähnlicher *). Die Lichtstrahlen dringen ohne viel Behinderung durch mehre Bogen Papier, ja selbst zahlreich durch Pappe **).

Die Hauptquellen des Lichtes sind, wie wir bereits bemerkt haben, die leuchtenden Körper des Himmels, d. i. das himmlische Feuer, insbesondere die Sonne und das irdische Feuer, oder dasjenige, welches durch Verbrennen oder Glühen hervorgebracht wird. Es gibt jedoch Fälle, in welchen Licht unter Umständen erscheint, die anscheinend mit den Einflüssen der Sonnenstrahlen, oder mit dem irdischen Feuer in keinem Zusammenhange stehen. Die Entwickelung des Lichtes begleitet viele elektrische Erscheinungen; dahin gehören das Blitzen, die Feuerfunken, wenn man mit der Hand über den Rücken einer Katze hinstreicht, und viele andere. Das Phosphoresciren ist eine Art von Leuchten, wobei Licht ohne wahrnehmbare Wärme ausgestrahlt wird, und die Wirkung scheint entweder gar nicht oder nur sehr entfernt von einer der großen Quellen des Lichtes, wie sie oben angegeben worden sind, abzuhängen. Der gemeine Phosphor ist ein höchst entzündlicher Körper, der bei einer gewissen Temperatur grimmig brennt und mit intensivem Lichte und Hitze versehen ist; er leuchtet aber auch bei sehr

---

*) Indem es nämlich die Poren ausfüllt.

Der Übers.

**) Elements of Natural Philosophy, Vol. I. p. 20—22.

niedriger Temperatur, was indessen die Wirkung eines langsamen Verbrennens zu sein scheint. Van Marum jedoch, ein holländischer Naturforscher, hat ermittelt, das Phosphor mit trockner loser Baumwolle umgeben oder mit Harz besprengt, auch unter dem geleerten Recipienten einer Luftpumpe leuchtet, eine Lage, in welcher eine Verbrennung möglicher Weise kaum stattfinden kann, weil die atmosphärische Luft mangelt. Es gibt aber phosphorescirende Körper, welche Licht unter Umständen ausstrahlen, die durchaus in keinem Zusammenhange mit dem Prozesse des Verbrennens stehen. Moderndes Holz, zuweilen auch Torf, hat man im Dunkeln leuchten sehen; auch einige Arten von Fischen, wie Meerzungen, Weißlinge, Schleihen, Karpfen, wenn sie etwas angegangen, aber nicht faul sind, ferner Hummern und Krebse unter ähnlichen Umständen, endlich auch je zuweilen Fleisch des Schlächters, werden leuchtend.

Es gibt mehre Thiere der untern Ordnungen, welche im lebenden Zustande in größerer oder geringerer Menge Licht ausstrahlen. Unter den Insekten ist der Johanniswurm (Lampyris splendidula) wegen seiner leuchtenden Eigenschaften am Allgemeinsten bekannt, weil er unter unserm Himmelsstriche häufig vorkommt; wir haben aber auch andere Insekten, die ähnliche Eigenschaften bis zu einem gewissen Grade besitzen, unter andern die gemeine Assel, welche man unter Ziegeln und Blumentöpfen im Garten findet, und die, wenn sie gereizt wird, helle Lichtfunken aussprüht. Die merkwürdigsten leuchtenden Insekten sind aber in Westindien und Südamerika heimisch, und darunter zeichnet sich vorzüglich der **Elater noctilucus**, ein hornflügeldeckiges Insekt, aus. „Er ist einen Zoll lang und ungefähr ein drittel Zoll breit, sein Licht strahlt vorzüglich aus zwei augenähnlichen Erhöhungen auf dem Thorax aus und ist so beträchtlich, daß dabei der kleinste Druck gelesen werden kann, wenn man das leuchtende Insekt von Zeile zu Zeile

schiebt *)". Seefahrer sehen häufig die Oberfläche des Meeres leuchten und das Licht wird gewöhnlich, wenn nicht immer, durch gewisse phosphorescirende Seethiere hervorgebracht. Diese leuchtenden Erscheinungen haben gewisse Eigenthümlichkeiten, und man hat sie hiernach in fünf verschiedene Spielarten getheilt: „Die erste zeigt sich in zerstreuten Funken in der Spreu des Meeres oder der Schaumfurche des Schiffes, wenn das Wasser durch Winde oder Strömungen leicht bewegt ist; die zweite ist ein plötzliches Aufzucken von weißem Lichte und von augenblicklicher Dauer, aber oft so stark, daß die Gewässer in einem Umkreis von mehren Fuß erhellt werden; die dritte Art, sehr selten und den Meerbusen, Buchten und Untiefen in heißen Klimaten eigenthümlich, ist eine verschwimmende blasse Phosphorescenz, welche zuweilen einem Meere von Milch oder von Metall im Zustande des Weißglühens gleicht; die vierte zeigt sich dem erstaunten Seefahrer in der Gestalt dicker, ungefähr einen halben Fuß langer Metallstangen im Zustande des Weißglühens, und über die Oberfläche des Meeres so verbreitet, daß sich einige erheben und so lange leuchten, als man in ihrem Gesichtskreise bleibt, andere dagegen sich senken und verschwinden; die fünfte Art besteht aus von einander gesonderten Punkten auf der Oberfläche von großer Schönheit und strahlendem Glanze. Das Licht der ersten Art ist glänzender und dichter als das der übrigen Arten, dem rothen Gold- und Silbererze der Feuerwerkskünstler ähnlich. Diese und die dritte Art werden durch Myriaden verschiedener sehr kleiner Schalthiere hervorgebracht, den kleineren Medusen, Mollusken und vielleicht auch Anneliden; die zweite rührt von den gallertartigen Medusen von größerem Umfange her; die Pyrosomen **) sind die

*) Introduction to Entomologg. By. Rev. W. Kirby and W. Spence. 8. vol. II. p. 413.

**) Wahrscheinlich ist das Pyrosoma giganteum gemeint.

Ursache der vierten Art, welche oft von den nach Indien segelnden Schiffen ostwärts vom Vorgebirge der guten Hoffnung in den ruhigen Breiten in der Nähe der Linie beobachtet wird. Der **Sapphirina Indicator**, ein Insekt, welches einigermaßen einem Kelleresel (**oniscus**) gleicht und ungefähr einen Zoll lang ist, strahlt die letzte Art aus, welche auf jene Meerestheile beschränkt zu sein scheint, die nordwestlich von einer Linie liegen, die von dem Vorgebirge der guten Hoffnung bis zur südlichen Spitze der Insel Ceylon gezogen wird." (**Thompson's Zoological Researches and Illustrations. 1832. 8.**)

Auch von einigen Blumen hat man bemerkt, daß sie, so lange sie sich auf den Pflanzen befinden, wozu sie gehören, Funken ausstrahlen. Diese Blitze im Kleinen bemerkt man zuweilen an Sommerabenden bei warmem schwülem Wetter, aus den Blumenblättern der gewöhnlichen und der afrikanischen Ringelblume, des Nesturtiums und der Tuberose zucken.

Auch mehre Mineralkörper strahlen unter besondern Umständen Licht aus. Dies ist der Fall mit einigen Diamanten und verschiedenen Arten Bergkrystall, welche, nachdem man sie der Sonne ausgesetzt hat und dann in ein dunkles Zimmer bringt, leuchten. Was man den bolognesischen Leuchtstein nennt, ist ein künstliches Product, indem man schwefelsauren Baryt oder Schwerspath pulverisirt und mittels Gummi Traganth in dünne Kuchen formt, welche man dann bei einem offenen Feuer sorgfältig calcinirt und langsam auskühlen läßt; ist diese Masse der Sonne ausgesetzt worden, so leuchtet sie im Dunkeln. Es gibt Mineralien, welche im Dunkeln leuchten, wenn man sie einer etwas geringeren Temperatur

---

eine Tunikatenart, die aus unzähligen besondern Individuen besteht, welche innerlich so eingerichtet sind, wie die Cynthia papillata, und zusammen eine lange am obern Ende geschlossene, am untern offne Röhre bilden. Anm. d. Übers.

als jene des Rothglühens ausgesetzt hat, z. B. phorphorsaurer Kalk aus Estremadura in Spanien, einige Arten von Flußspath, Steinkalk, Quarz und Schwerspath. Canton's Phosphor, welcher aus geschwefeltem Kalk besteht, und Baldwin's Phosphor, welcher salpetersaurer Kalk ist, hat ähnliche Eigenschaften; und wenn man Austerschalen eine Stunde lang in Kohlenfeuer calcinirt, und nach geschehener Auskühlung ein dünnes Häutchen von der innern Seite wegnimmt, so wird man finden, daß sie phosphorescirend geworden sind. Licht kann auch durch heftiges Reiben und Zusammenstoßen unverbrennbarer Körper erzielt werden, gerade wie bei Stahl und Feuerstein. So werden Funken hervorgebracht, wenn man zwei Stücken gewöhnlichen Kiesel oder Bergkrystall gegen einander schlägt; und auch zwei Stücke Hutzucker, wenn sie im Dunkeln an einanderstoßen, gewähren ein blasses Licht; dies ist jedoch bloße Phosphorescenz, denn obschon der Zucker eine brennbare Substanz ist, ist doch dieser leuchtende Schein von keiner Verbrennung begleitet.

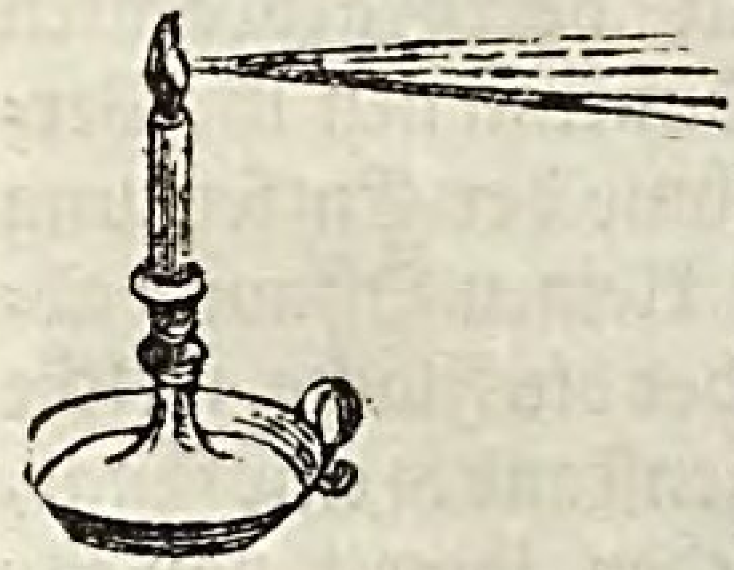
Licht, als Ursache des Sehens, oder als Medium, wodurch die Gegenstände für das Gesicht wahrnehmbar werden und dem Auge vielfältige Tinten darbieten, ist seit Newton's Theorie des Lichtes und der Farben der Ausstrahlung einer besondern ätherischen Flüssigkeit aus der Sonne und allen andern leuchtenden Körpern zugeschrieben worden. Von diesem freien Fluidum oder Aether nahm man an, daß er beständig nach allen Richtungen von der Sonne und den Fixsternen ausströme, mit einer 900,000 Mal größern Schnelligkeit als der Schall sich durch die Luft fortpflanze und doch aus so außerordentlich feinen Theilen bestehe, um durch die dichtesten Substanzen zu dringen, ohne ihre Gestalt im Mindesten zu ändern oder sich während ihres Durchganges auch nur im geringsten Grade gegenseitig zu beirren. Descartes, im Jahre 1650 gestorben, hatte eine verschiedene Hypothese aufgestellt, um die Wirksamkeit des Lichtes zu

erklären; er nahm nämlich das Dasein eines ätherischen Fluidums an, welches keine Translationsbewegung, das ist, keinem Durchgange von einem Theile des Raumes durch einen andern unterworfen, wol aber fähig wäre, durch den Impuls leuchtender Körper in eine wellenförmige Bewegung versetzt zu werden, welche wellenförmige Bewegung unbestimmt ausgedehnt sei, mithin den Einfluß des Lichtes offenbar durch jeden gegebenen Raum fortpflanze. Diese Undulationstheorie, wie sie genannt wird, wurde angenommen und verbessert von Huyghens, dem Zeitgenossen Newton's, dessen System der Emanation oder der Ausströmung des Lichtes, hauptsächlich wegen des Ansehens seines großen Namens, fast allgemein bis zur Mitte des letzten Jahrhunderts herrschte, wo es von Leonhard Euler angegriffen wurde. Dieser große Mathematiker hat in seinen „Briefen über verschiedene Gegenstände der Physik, gerichtet an eine deutsche Fürstin" die Schwierigkeiten hervorgehoben, auf welche man stößt, wenn man die Erscheinungen des Lichtes nach Newton's Emanationstheorie zu erklären versucht; zugleich gab er mehre einleuchtende Gründe zu Gunsten der Undulationstheorie, zeigte die Analogie zwischen der Fortpflanzung des Lichtes und des Schalles, und wies die allgemeine Übereinstimmung der Hypothese mit jenen Thatsachen nach, welche die Grundlage der optischen Wissenschaft bilden. Euler gewann jedoch unter seinen wissenschaftlichen Zeitgenossen wenig Anhänger und die entgegengesetzte Theorie wurde allgemein für richtig gehalten bis zum Jahre 1801, wo Dr. Thomas Young aus den von Newton selbst aufgestellten Grundsätzen die drei folgenden Hypothesen ableitete: 1) daß ein lichttragender, in hohem Grade dünner und elastischer Äther das ganze Universum durchdringe; 2) daß Undulationen in diesem Äther erregt werden, so oft ein Körper leuchtend wird; 3) daß die Eindrücke der verschiedenen Farben von der Häufigkeit der Vibrationen abhängen, welche vom Lichte in der Netzhaut hervorgebracht werden. Diesem fügte

er eine vierte Hypothese hinzu, daß nämlich alle Körper eine Anziehungskraft für dieses ätherische Medium besitzen, durch welche es in ihrer Substanz und in einem kleinen Raume um sie, in einem Zustande größerer Dichtigkeit, aber nicht größerer Elasticität angehäuft wird *).

Spätere Entdeckungen haben zur Bestätigung der Theorie der Undulation oder der Lichtwellen beigetragen, welche eine, nicht so vielen Einwürfen bloßgestellte Methode liefert, die Erscheinungen des polarisirten Lichtes und anderer Thatsachen zu erklären als die Emanationstheorie. Die erstere ist von den ausgezeichneten jetzt lebenden oder kürzlich verstorbenen Physikern angenommen worden, von Fresnel, Arago, Sir John Herschel, Sir D. Brewster und Andern, welche durch ihre eigenen Entdeckungen zur Erweiterung der Grenzen der Wissenschaft beigetragen haben.

Die Fortpflanzung des Lichtes findet stets in geraden Linien statt, welche von jeder Seite aus leuchtenden Körpern ausgehen. Diese strahlenden Linien oder Strahlen divergiren in ihrem Fortgange von einander und bilden

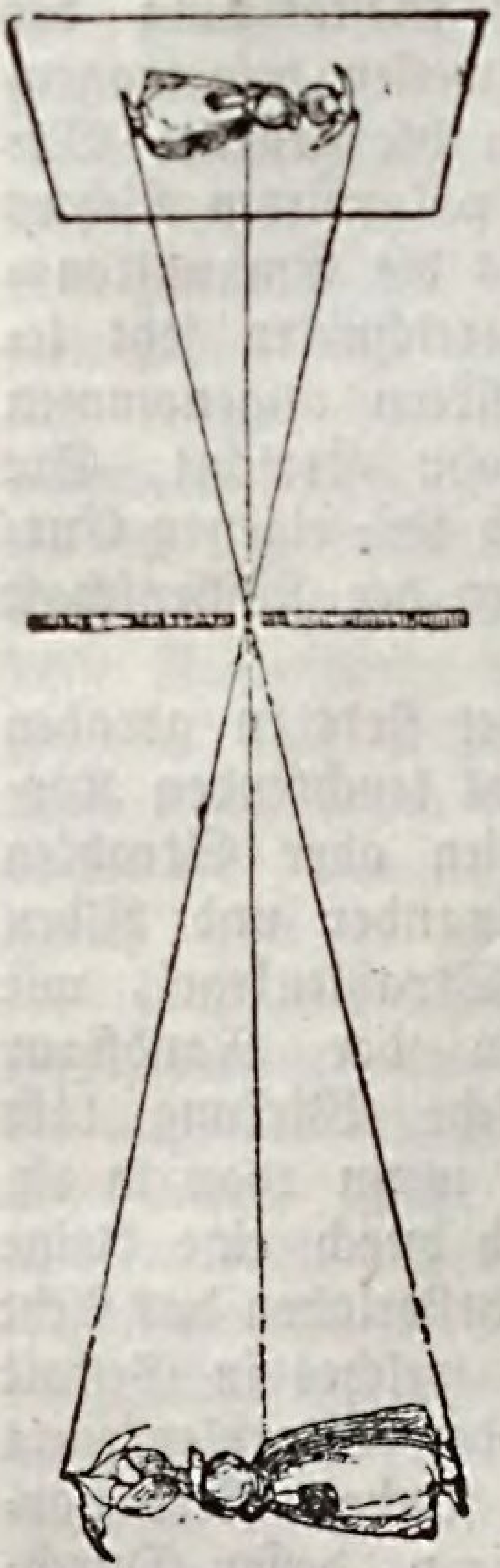


den sogenannten Strahlenkegel, wie man denselben in der Randfigur sieht. Eine ähnliche Wirkung läßt sich hervorbringen, wenn man in ein verfinstertes Gemach durch eine kleine Öffnung in dem Fensterladen das Licht der Sonne einläßt, welches in Gestalt eines divergirenden Strahlenbüschels oder Strahlenkegels eindringen wird, und wenn man ein flaches Bret vorhält, wird sich ein leuchtendes Bild zeigen, dessen Durchmesser im Verhältnisse zur Entfernung des Bretes von der Öffnung zunimmt, und welches, je nachdem man das

*) Siehe Philos. Transact. for 1802; und Abstract of Papers in the Philos. Transact. vol. I. p. 64, 65.

Bret neigt, eine elliptische oder andere Kurvengestalt annehmen wird.

Bilder verschiedengestaltiger Körper, welche man mittels eines Lichtes, das dergestalt durch eine kleine Öffnung fällt, sieht, befinden sich stets in verkehrter Stellung, wegen der Schiefe oder Divergenz der Lichtstrahlen.



Daß eine solche Wirkung stattfinden muß, wird man leicht aus der nebenstehenden Abbildung entnehmen, welche zeigt, daß die durch die Öffnung dringenden Strahlen einander durchkreuzen. Die von den oberen Theilen der Gegenstände kommenden Strahlen werden daher auf den bezüglich untern Theil der Fläche, sowie umgekehrt, die von den untern Theilen kommenden auf den oberen Theil der Fläche auffallen, weßwegen das hervorgebrachte Spectrum oder Bild nothwendiger Weise verkehrt sein muß. Es ist oben angedeutet worden, daß die dergestalt hervorgebrachten Bilder in ihren Dimensionen im Verhältnisse der Abnahme der Entfernung der Fläche von der kleinen Öffnung abnehmen. Wenn daher die Fläche, welche das Bild eines Gegenstandes empfängt, vor der Öffnung eben soweit von ihr entfernt ist, als der Gegenstand es hinter derselben ist, so wird die Größe des Bildes mit jener des Gegenstandes genau zusammenfallen, weil die Strahlenkegel auf beiden Seiten einander gleich sind. Wenn dagegen die Fläche der Öffnung um die Hälfte näher gerückt wird, so wird das Bild nur den vierten Theil so groß sein als zuvor; bei ein Drittel der Entfernung nur den neunten Theil; bei ein Viertel der Entfernung nur ein Sechzehntheil: kurz

die Verkleinerung findet im Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen der das Bild aufnehmenden Fläche von der Öffnung statt. Die Intensität des Lichtes vermindert sich in demselben Verhältnisse: gesetzt, ein Kerzenlicht stehe in einer Entfernung von einer Elle von dem Zifferblatte einer Uhr, so mag das auf dasselbe fallende Licht durch die Zahl 1 ausgedrückt werden; entfernt man die brennende Kerze auf zwei Ellen, so wird das auffallende Licht nunmehr $^1/_4$ so stark sein als zuvor, bei 3 Ellen $^1/_9$, bei vier $^1/_{16}$, bei fünf $^1/_{25}$, bei fünfundzwanzig Ellen nur $^1/_{625}$. Diese Lichtverminderung im Verhältnisse zur Entfernung von dem leuchtenden Körper ist die nothwendige Wirkung der Divergenz und der daraus sich ergebenden Verstreuung des Lichtes; es läßt sich daher leicht begreifen, warum ein unbeträchtliches Licht nur auf eine vergleichungsweise geringe Entfernung gesehen werden kann und weswegen sein Einfluß, um nichtleuchtende Körper sichtbar zu machen, auf eine viel kürzere Entfernung beschränkt sein muß, als auf den äußersten Punkt, von welchem aus jenes Licht noch erblickt werden kann.

Die scheinbare Größe aller sichtbaren Gegenstände läßt sich aus denselben Grundsätzen erklären, nach welchen die Formation der Bilder mittels eines Lichtes stattfindet, das durch eine Öffnung gelassen wird, wie eben beschrieben worden. Wenn wir einen erleuchteten Körper sehen, so wird sein Bild im Schatten gezeichnet, jedoch so, daß er seine eigenthümlichen Farben auf der Netzhaut beibehält, einem mit Nerven versehenen Häutchen, welches die innere Oberfläche des Auges ausfüttert. Eine genauere Beschreibung der Struktur und des Zweckes der einzelnen Theile des Auges wird gegeben werden, sobald die Natur und die Ursachen der Brechung des Lichtes erörtert sein werden, aber das Verhältniß zwischen den sichtbaren Bildern der Gegenstände und den Angularentfernungen der Gegenstände selbst kann hier nur kurz angedeutet werden. Aus dem, was bereits über die Verminderung des Lichtes eines Strahlenkegels

im Verhältniß zu den Entfernungen jenes Punktes, wo die Strahlen divergiren, angeführt worden ist, folgt, daß, je näher sich ein Gegenstand dem Auge befindet, desto zahlreicher die Lichtstrahlen sein werden, die von ihm ausgehen und auf das Auge so wirken, daß sie ein Bild auf der Netzhaut hervorbringen. Die Anzahl der Strahlen wird auf die angegebene Art zunehmen oder abnehmen, wie die Quadrate der Entfernungen. Dieses Gesetz regulirt jedoch nur die Fortpflanzung des Lichtes einfach und unabhängig von dem Medium, welches es durchdringt; denn die Luft, der durchsichtigste aller Körper, unterbricht, wie bereits bemerkt worden, bis zu einem gewissen Grade den Durchgang des Lichtes; die Beschaffenheit des Mediums, durch welches wir die Gegenstände sehen, muß daher auf ihre scheinbaren Dimensionen einen großen Einfluß haben *). Der Winkel, welcher durch das Zusammenstoßen der Lichtstrahlen, die von den entgegengesetzten Enden eines sichtbaren Körpers ausgehen, gebildet wird, heißt der Sehwinkel. Dieser Winkel wird nun beziehungsweise sehr verengert, wenn die Strahlenlinien von einem äußerst kleinen Körper ausgehen, oder von einem Körper, der sich in einer großen Entfernung befindet. So gibt es Insekten, welche zu klein sind, um von dem unbewaffneten Auge wahrgenommen zu werden, selbst wenn man sie demselben noch so nahe bringt; und andere Gegenstände von außerordentlicher Größe, z. B. die Fixsterne, welche an Umfang die Erde tausendmal übertreffen, erscheinen wegen ihrer unermeßlichen Entfernung als bloße Punkte, ja es gibt ohne Zweifel eine unzählige Menge von Sternen, die noch viel entfernter sind, und daher ganz unsichtbar bleiben, selbst wenn man die Himmelsräume mit den besten Teleskopen durchspäht. Wenn der Sehwinkel nicht mehr als eine Secunde eines

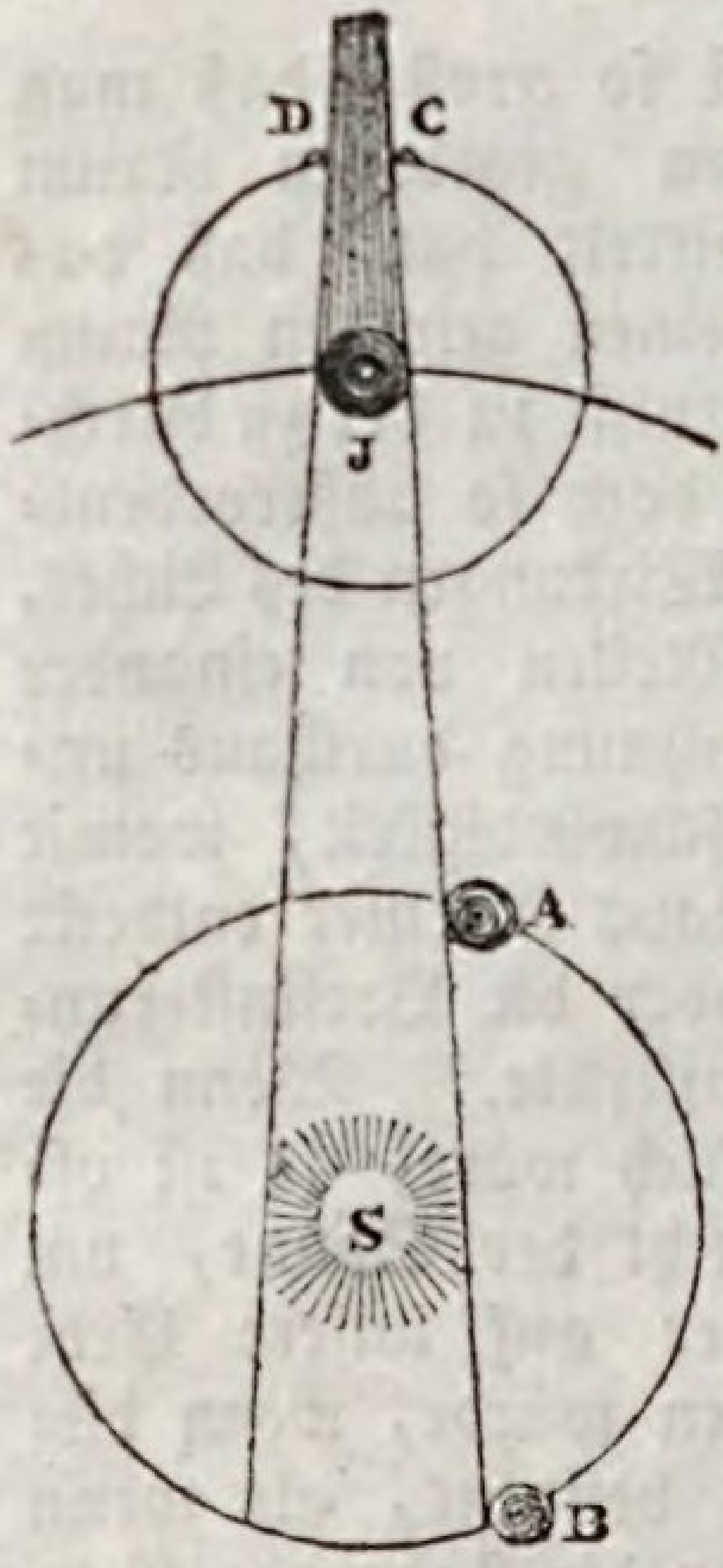
---

*) Siehe die folgende Abtheilung dieser Abhandlung, welche auf die Strahlenbrechung Bezug hat.

Grades beträgt, so wird der Gegenstand, von welchem die Maler ausgehen, nicht sichtbar sein, er wäre denn äußerst stark erleuchtet.

Die Schnelligkeit des Lichtes ist so groß, daß man lange glaubte, es lege zeitlos jeden gegebenen Raum zurück. Obschon man jedoch ermittelt hat, daß das Licht eine gewisse Zeit brauche, um einen gewissen Raum zu durchlaufen, und zwar im Verhältnisse zu der zu durchlaufenden Weite, ist seine Bewegung doch so außerordentlich schnell, daß man, wenn man die Wirkungen des Lichts, an Plätzen beobachtet, die mehre Meilen von einander entfernt sind, die Zeit bei der Berechnung durchaus unberücksichtigt lassen darf. Die Geschwindigkeit, womit sich das Licht verbreitet, ist von Olaus Roemer entdeckt worden, indem er Beobachtungen über die Verfinsterungen der Satelliten des Jupiters anstellte. Wenn die Transmission des Lichtes augenblicklich wäre, so ist offenbar, daß das zurückgestrahlte Licht der Sonne, um von einem der planetarischen Körper auf unsere Erde zu gelangen, nicht mehr Zeit brauchen würde, wenn dieser Körper sich am fernsten von uns befindet, als wenn er uns am nächsten steht. Da ferner die Lage der Erde in Bezug auf die übrigen Planeten verschieden ist in verschiedenen Theilen ihrer Bahn, so würden die Satelliten des Jupiters, wenn sie aus dem Schatten dieses Planeten auftauchen, auf der Erde eben so schnell gesehen werden, wenn sie sich auf dem einen Punkte ihrer Bahn befindet, als wenn sie an einem andern ist. Aber dies begibt sich keineswegen; vielmehr ist die Transmission des Lichtes so beschaffen, daß, wenn die Erde zwischen dem Jupiter und der Sonne steht, die Satelliten, nachdem sie verfinstert worden sind, um acht Minuten früher wieder sichtbar werden, als sie in Gemäßheit der Zeit erscheinen sollten, die von den genauesten Tabellen angegeben ist; befindet sich die Erde dagegen in dem entgegengesetzten Theile ihrer Bahn, so daß die Sonne zwischen der Erde und dem Jupiter steht, so erblickt man

die Satelliten gegen acht Minuten später, als die berechnete oder mittlere Zeit beträgt.



In der beigefügten Zeichnung sei S die Sonne, A und B die Erde in verschiedenen Theilen ihrer Bahn; J der Jupiter, D sein nächster Satellit, wie er in dem Schatten dieses Planeten eintritt, und C derselbe Satellit, wie er wieder aus dem Schatten heraustritt. Die Zeit des Anfanges oder des Endes einer Verfinsterung des Satelliten, ist nach der Berechnung der Tabellen der Augenblick, in welchem der Satellit in den Schatten eintreten oder aus demselben austreten würde, wenn ein Beobachter ihn von der Sonne aus sehen könnte. Man hat aber durch wiederholte Beobachtung gefunden, daß die Finsterniß um 8 Minuten früher gesehen wird, als die berechnete Zeit angibt, wenn sich die Erde im nächsten Punkte ihrer Bahn, zu A, befindet, und um 8 Minuten später, wenn sie den entgegengesetzten Punkt ihrer Bahn, B, einnimmt. Daraus folgt, daß das Licht 8 Minuten braucht, um durch einen Raum zu gelangen, welcher den halben Durchmesser der Erdbahn, das ist, ihrer Entfernung von der Sonne gleichkömmt, die 95,000,000 (engl.) Meilen beträgt; das Licht bewegt sich daher mit einer Geschwindigkeit von $^{95000000}/_{8} \times 60 = 197{,}916$, oder von beinahe 200,000 (englischen) Meilen in einer Secunde.

Die Abirrung der Fixsterne beweist gleichfalls, mit welcher Geschwindigkeit das Licht sich bewegt. Dr. Bradley hat ermittelt, daß dieses Phänomen von der Bewegung der Erde in ihrer Bahn in Verbindung mit der Schnelligkeit des Lichtes abhängt. Die Wirkung, welche

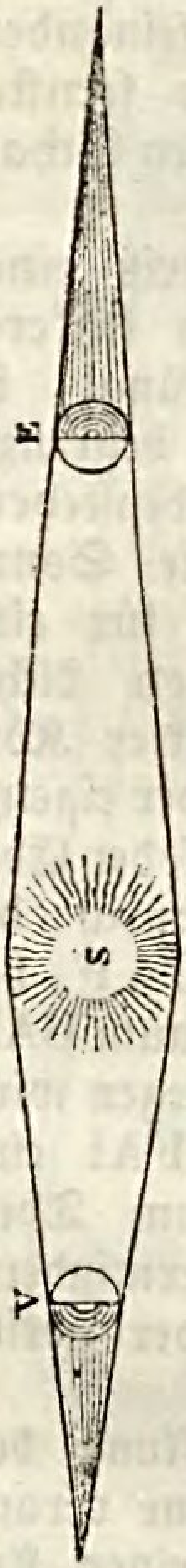
dadurch auf die scheinbaren Plätze der Fixsterne zu verschiedenen Zeiten hervorgebracht, und Abirrung genannt wird, ist vom Professor Robinson sehr einleuchtend erklärt worden. Er sagt, daß Hagelkörner, wenn sie perpendiculär auffallen, durch eine in senkrechter Richtung festgehaltene Röhre frei fallen müssen; wenn dagegen die Röhre in einem Kreise bewegt wird, während die Hagelsteine fallen, so werden sie gegen ihre Wände anschlagen, außer man neigt die Röhre in einem Winkel von fünfundvierzig Graden vor, vorausgesetzt, daß die Geschwindigkeit, womit die Röhre bewegt wird, jener des fallenden Hagels gleich ist. „Auf dieselbe Weise müßte, wenn die Erde stünde und wir einen Stern in der Nähe des Pols der Ekliptik sehen wollten, das Teleskop gerade auf diesen Stern gerichtet werden. Weil aber die Erde sich um die Sonne bewegt, muß man das Teleskop etwas vorwärts richten, damit das Licht längs der Axe der Röhre einfalle. Das Verhältniß der Geschwindigkeit des Lichtes zur Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, beträgt beinahe 10,000 : 1, folglich muß das Teleskop 20 Secunden vorwärts geneigt sein. Ein halbes Jahr nachher sehe man wieder nach diesem Sterne. Das Teleskop muß abermals 20 Secunden vor dem wahren Platz des Sterns gerichtet werden. Dies ist aber in der entgegengesetzten Richtung von der vorigen Abweichung des Teleskops, weil die Erde, da sie sich nun im entgegengesetzten Theile ihrer Bahn befindet, sich den andern Weg bewegt. Es muß daher scheinen, als hätte sich die Lage des Sterns in 6 Monaten um 40 Secunden geändert. Daraus folgt, daß jeder Stern scheinbar 40 Secunden mehr Länge haben muß, wenn er sich um Mitternacht an unserm Meridian befindet, als wenn dies zu Mittag der Fall ist. Die Wirkung dieser Combination von Bewegungen, welche der genauesten Prüfung fähig ist, besteht in Folgendem. Es werde die Abweichung eines Sterns in der Nähe des Poles der Ekliptik zur Zeit der Äquinoctien

betrachtet. Da wird sich finden, daß er 40 Secunden mehr Abweichung im Herbstäquinoctium als im Frühlingsäquinoctium haben wird, wenn sich der Beobachter in der Breite von 66° 30′ befindet, und nicht viel weniger in jener von London. Mithin scheint jeder Stern am Himmel eine kleine Ellipse zu beschreiben, deren längere Axe 40 Secunden beträgt *)."

Sowie die gänzliche Abwesenheit von Licht Finsterniß hervorbringt, verursacht partieller Lichtmangel Schatten. Wenn ein dunkler Körper den Fortgang der Lichtstrahlen unterbricht, so wird die Gestalt dieses Körpers oder dessen eine finstere Area einschließender Umriß auf jeder ebenen Fläche jenseit des dunklen Körpers erscheinen und dessen Schatten bilden. Die Tiefe oder Schwärze des Schattens steht stets in geradem Verhältnisse zur Intensität des Lichtes, und wenn ein dunkler Körper durch mehre Lichter von verschiedenen Punkten aus auf einmal erleuchtet wird, so werden so viele Schatten gebildet als es Lichter gibt, wie man sich davon leicht in einem Zimmer überzeugen kann, wo mehre Lampen oder Kerzen brennen. Wenn der leuchtende Körper größer ist als der dunkle Körper, welcher sein Licht auffängt, so wird der Schatten die Gestalt einer Pyramide haben, deren Basis der Oberfläche des dunklen Körpers gleich ist und deren Länge von der Entfernung abhängt, in welcher sich der leuchtende Körper von jenem befindet, der sein Licht auffängt.

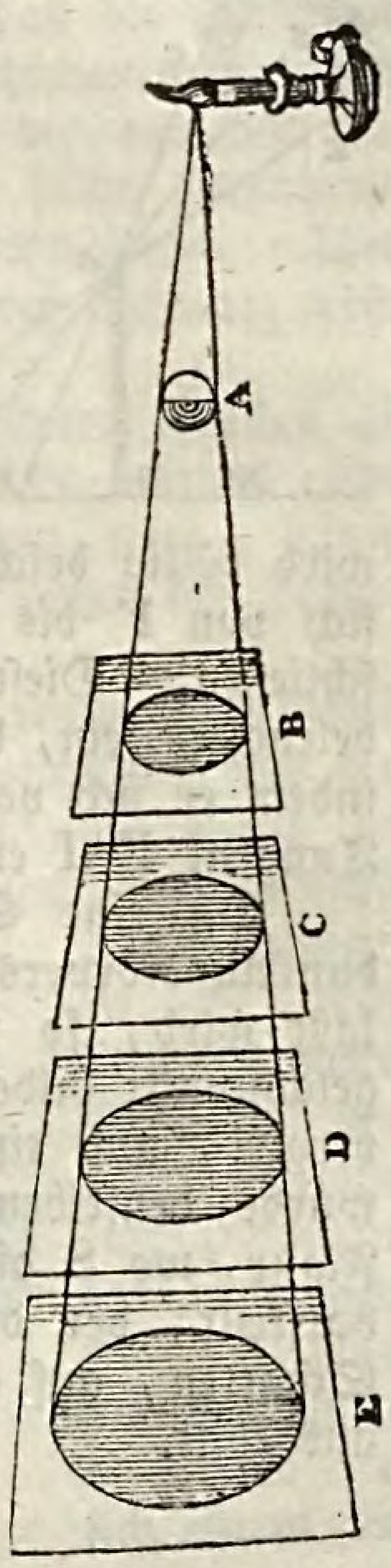
---

*) Elements of Mechanical Philosophy, 1804. vol. I. p. 264, 265.



Es sei in nebenstehender Figur S die Sonne, V der Planet Venus, E die Erde. Gesetzt nun, die beiden Planeten wären von gleicher Größe, so würde die Venus, weil sie der Sonne näher steht als unsere Erde, auch einen kürzeren konischen Schatten werfen.

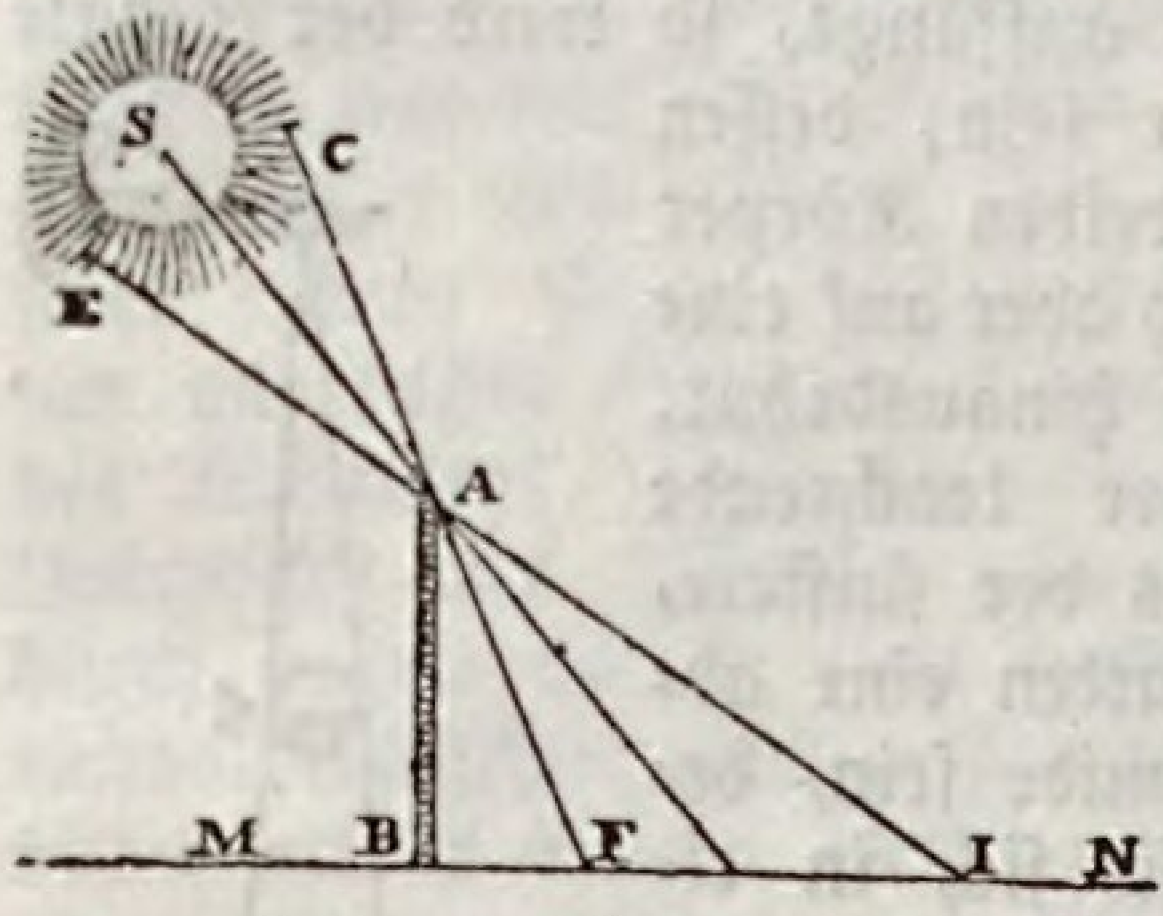
Wenn ein Schatten durch einen finsteren Körper gebildet wird, der genau dieselben Dimensionen hat, wie der leuchtende Körper, dessen Strahlen er auffängt, so wird der Schatten ein Cylinder sein, dessen Area jener der beiden Körper gleich ist, der sich aber auf eine unendliche Länge hinausdehnt. Ist dagegen der leuchtende Körper kleiner als der finstere, so wird der Schatten eine abgestumpfte Pyramide sein, deren größere Basis sich in einer unendlichen Entfernung befinden muß. Im ersteren Falle werden die Lichtstrahlen in parallelen Linien fortlaufen, bis sie unterbrochen werden, folglich wird auch der Schatten seine Dimensionen durch seine unendliche Ausdehnung bewahren; im letzteren Falle dagegen werden die Strahlen divergiren, und der gebildete Schatten wird an Dimension im Verhältniß zur Entfernung zwischen den beiden Körpern zunehmen.



Dies läßt sich leicht darthun, wenn man die relativen Dimensionen derselben Figur betrachtet, wenn der Schatten auf eine ebene Fläche in verschiedenen Entfernungen von der Quelle des Lichtes ge-

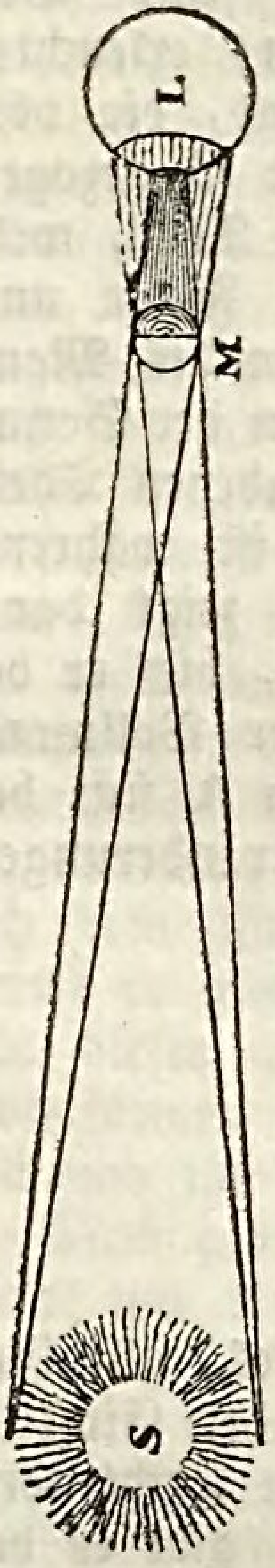
worfen wird. Es sei A ein von einem Kerzenlichte erleuchteter Gegenstand und B, C, D, E eine Aufeinanderfolge von Schirmen, B der nächste und E der fernste; jener wird daher den kleinsten, dieser den größten Schatten haben (s. vorh. Fig.).

Der eigentliche Schatten, oder finstere Umriß eines dunkeln Körpers, welcher gebildet wird, wenn letzterer die Lichtstrahlen eines leuchtenden Körpers auffängt, ist stets von einer Art Halbschatten umgeben oder begrenzt.



Es sei in der nebenstehenden Figur S die Sonne oder was immer für eine andere Quelle von Licht, und AB ein dunkler Körper; der wahre oder eigentliche Schatten auf der Ebene MN wird durch die Tangentiallinie CAF bestimmt und der Raum BAF wird völlig beschattet sein; der Halbschatten dagegen wird sich von F bis I ausdehnen und den Raum FAI einschließen. Dieser Raum FAI wird jedoch zum Theil beleuchtet sein, da der Schatten sich allmälig vermindert, indem er sich von F nach I ausdehnt, wo ihn der zweite Tangent EAI endigt.

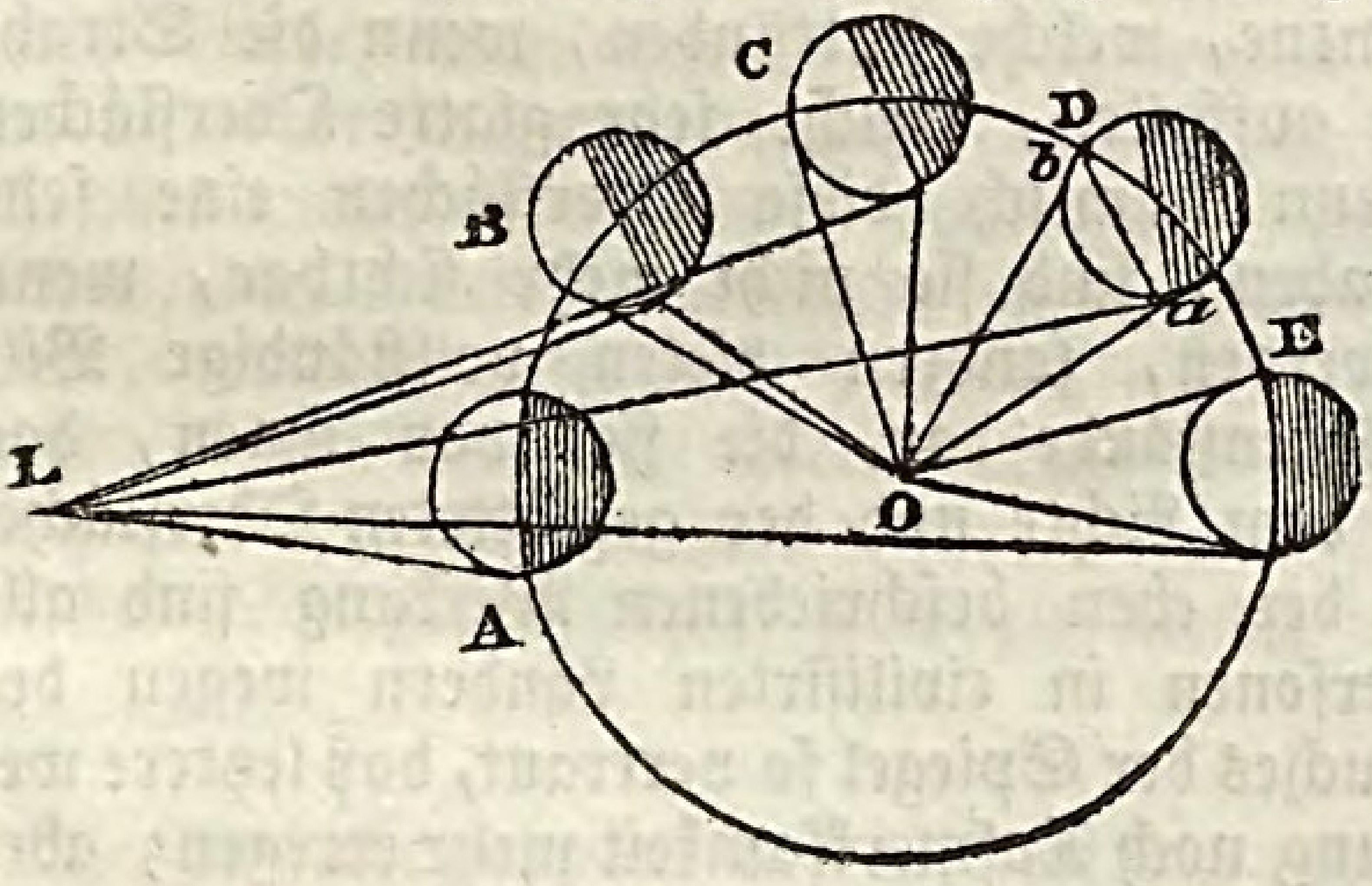
Da eine Sonnenfinsterniß durch die Stellung des dunkeln Körpers Mond zwischen Erde und Sonne veranlaßt wird, so wird der eigentliche Schatten einen Kegelabschnitt bilden, der vom Mond gegen die Erde convergirt, und ein schwächerer Schatten oder Halbschatten würde denselben umringen. Dies zeigt die umstehende Figur, wo S die Sonne, M den Mond und L die Erde darstellt; der dunkle Raum bildet den innern konischen Schatten, auf dessen beiden Seiten sich der Halbschatten ausdehnt.



Gewöhnlich betrachtet man den Schatten als vollkommen schwarz, was er auch gewiß sein müßte, wenn das Licht eines leuchtenden Körpers durch den vor denselben gestellten dunkeln Körper völlig und gänzlich ausgeschlossen würde. Aber sowie die Schatten in der Wirklichkeit vorkommen, unterscheiden sie sich sowol durch Farbe als durch Intensität, je nach Beschaffenheit der Umstände. So gewahrt man bei aufmerksamer Untersuchung, daß die Schatten, welche die Sonne zu verschiedenen Stunden des Tages veranlaßt oder die von verschiedenen andern Arten von Licht herrühren, aus grünen, blauen, violetten und rothen Tinten bestehen, welche durch Schwarz mehr oder weniger befleckt sind.

Die Gestalt des beleuchteten Theiles eines finstern Körpers, welcher mittels eines unbeweglichen Lichtes gesehen wird, hängt von der relativen Position sowol des Lichtes als des Beobachters ab.

Es sei L der Platz des leuchtenden Punktes, O der Platz des Beobachters. In diesem Fall wird eine dunkele, zu A sich befindliche Kugel ganz und gar nicht erleuchtet erscheinen; zu B wird der erleuchtete Theil der Kugel die Form eines Halbmondes annehmen, zu C eines Halbkreises, bei D wird er sich einem Zir-



kel nähern, und bei E der Zirkel vollendet sein. Der Umfang des von dem Punkte O sichtbaren, erleuchteten Theiles wird von den Tangenten bestimmt, die von der kleinen Sphäre nach den Punkten L und O gezogen werden; a b bezeichnet daher den erleuchteten Theil, welcher von der Sphäre D sichtbar ist. Diese Figur und Beschreibung dient zur Erklärung der Phasen des Mondes, oder dessen verschiedener Gestalt, als von der Sonne erleuchtet und von der Erde aus in verschiedenen Theilen seiner Bahn gesehen. Dieser Satellit ist während des Neumondes unsichtbar, wie zu A, und zeigt dann seine Oberfläche nach und nach immer mehr, bis er bei E eine vollkommen kreisrunde Scheibe oder Vollmond wird; worauf der abnehmende Mond gegen A sich bewegt und eine neue Aufeinanderfolge von Veränderungen stattfindet.

Katoptrik.

Außer der allgemeinen Wirkung des Lichtes, alle Gegenstände sichtbar zu machen, die innerhalb des Einflusses der Strahlen liegen, welche sich von dem leuchtenden Körper auf die um sie befindlichen erstrecken, gibt es besondere Phänomene, welche stattfinden, wenn die Strahlen auf Körper auffallen, welche sehr glatte Oberflächen darbieten. Wenn nämlich diese Oberflächen eine sehr feine Politur haben, sind sie nicht mehr sichtbar, wenn sie erleuchtet werden, sondern bieten vollständige Bilder aller der Gegenstände dar, die sich vor ihnen, das heißt, zwischen dem Lichte und der geglätteten Oberfläche, befinden. Mit der eben beschriebenen Wirkung sind alle erwachsenen Personen in civilisirten Ländern wegen des häufigen Gebrauches der Spiegel so vertraut, daß letztere weder Verwunderung noch Aufmerksamkeit mehr erregen; aber

unvernünftige Thiere, unwissende Wilde, und ohne Zweifel auch sehr kleine Kinder müssen, wenn sie zum ersten Male Spiegelbilder sehen, dieselben für wirkliche Gegenstände halten. Die Wirkung des Spiegels auf einen Kampfhahn ist häufig beobachtet worden, und daß unvernünftige Thiere und Kinder auf ähnliche Art getäuscht worden, mag leicht zugegeben werden: von Wilden sollte man jedoch meinen, daß sie mit der Wirkung des Lichtes auf die Oberfläche hellen Wassers kaum unbekannt sein könnten, folglich ohne Erstaunen ihr eignes Bild in einem Spiegel sehen würden. Dies ist jedoch nicht immer der Fall, und ein neuerer Reisender erzählt eine ergötzliche Geschichte von einem Wilden, welcher, als man ihm sein Gesicht in einem kleinen Taschenspiegel zeigte, eine außerordentliche Furcht an den Tag legte und auf keine Weise zu bewegen war, sich dem Spiegel oder dem Eigenthümer wieder zu nähern; er glaubte nämlich, daß der Mensch, welcher mittels dieser geheimnißvollen Maschine sein Ebenbild nehmen könne, sich auch seiner wirklichen Person bemächtigen und ihn behalten oder als Sklaven verkaufen möchte.

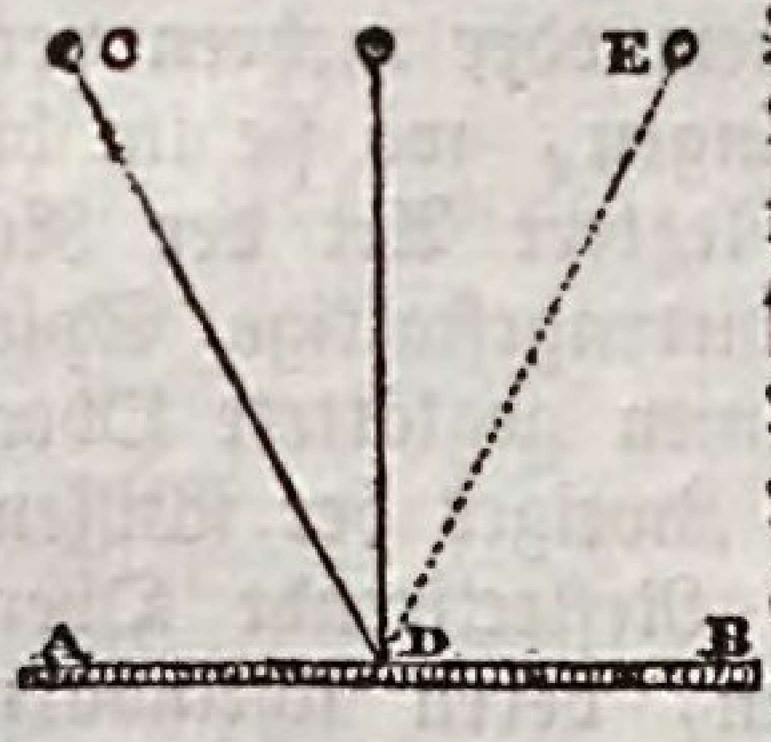
Man gebraucht das Wort Reflexion (Zurückwerfung), sowol um die directe Wirkung des Lichtes, die Bilder der Körper in ihren wirklichen Plätzen hervorzubringen, als um dessen indirecte Wirkung zu bezeichnen, mittels glatter Oberfläche die Bilder in einem oder mehren verschiedenen Plätzen vor dem hervorbringen, wo sie im directen Lichte erscheinen. Nur die letztere Art der Reflexion, oder diejenige durch verschiedengestaltige Spiegel, oder mehr oder minder vollkommen geglättete Oberflächen, bildet den Gegenstand jenes Zweiges der Wissenschaft, welcher Katoptrik *) heißt. Reflectirende Oberflächen können Bilder hervorbringen, deren scheinbarer Platz von dem Beobachter mehr entfernt ist als die Fläche des Spiegels selbst; oder die Bilder entstehen zwi-

*) Von κάτοπτρον, der Spiegel.

schen dem Auge des Beobachters und der reflectirenden Oberfläche, wie man in den meisten Fällen gewahrt, wo man sich concaver Spiegel bedient. Andere merkwürdige Wirkungen können durch cylindrische oder konische Spiegel, durch verschiedene Anwendung von Spiegeln und durch Combination derselben mit andern optischen Gläsern hervorgebracht werden.

Reflexion von ebenen Flächen.

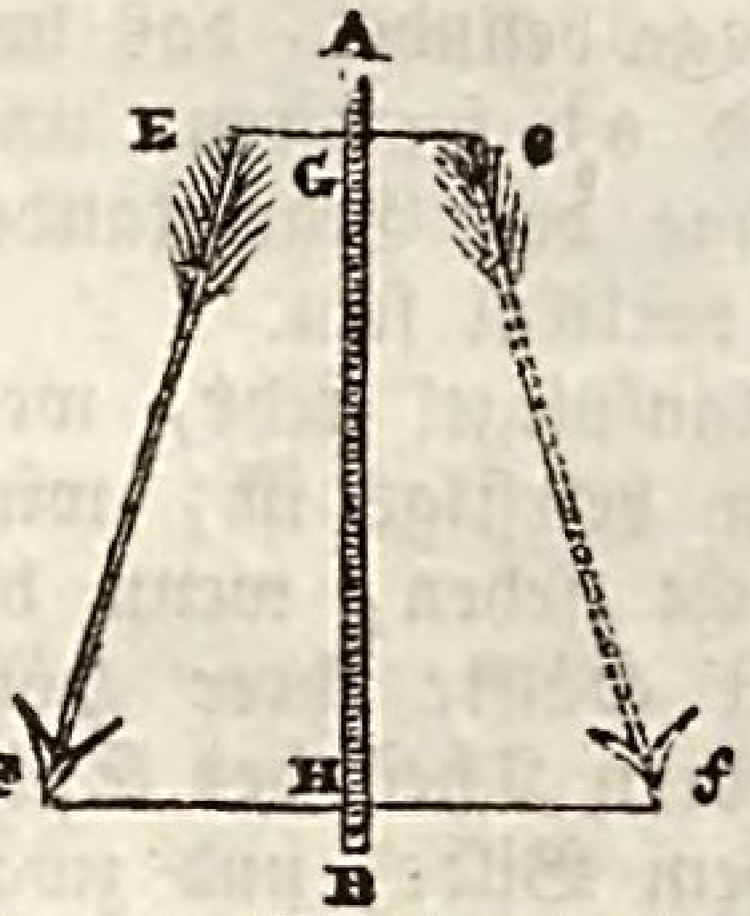
Lichtstrahlen werden nach denselben Gesetzen transmittirt, welche die Bewegungen vollständig elastischer fester Körper reguliren; denn ein Strahl, der auf eine reflectirende Oberfläche auffällt, wird auf eine solche Art zurückgeworfen oder reflectirt, daß der Auffallwinkel dem Reflexionswinkel vollkommen gleich ist*). Wenn daher ein Lichtstrahl auf einen ebenen Spiegel, der in senkrechter Richtung befestigt ist, wagerecht auffällt, wird er gleichfalls in einer wagerechten Linie zurückgeworfen; wenn er schief auffällt, wird er in demselben Grade von Schiefe zurückgeworfen werden, das ist, die Reflexionslinie und die Auffallslinie werden mit einer zwischen sie gezogenen senkrechten Linie vollkommen gleiche Winkel bilden. Dies läßt sich zeigen, wenn man durch eine kleine



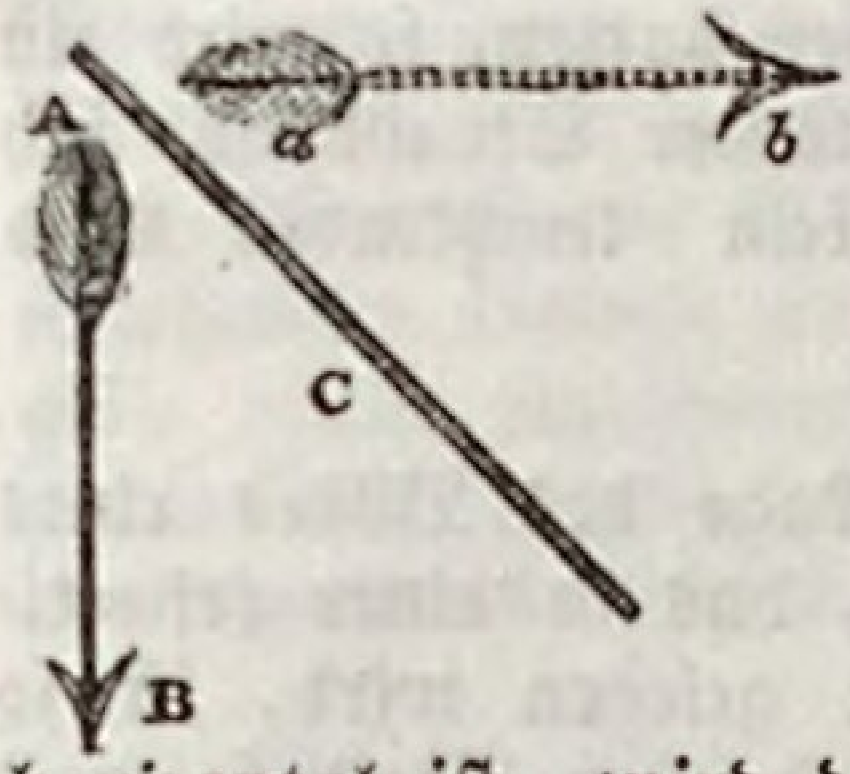
Öffnung in ein finsteres Gemach einen Lichtstrahl einläßt und auf dem Metallspiegel AB empfängt; wenn er schief auffällt in der Richtung CD, wird er in der Linie DE zurückgeworfen, und bei E auf einer daselbst angebrachten Fläche einen leuchtenden Punkt bilden. Da alle auf einer reflectirende Oberfläche auffallende Strahlen relativ nach der Reflexion Richtungen bewahren, welche

*) S. Einleitung zum Selbststudium der Mechanik. S. 10.

denjenigen entsprechen, die sie vorher hatten, so wird ein auf einem Spiegel senkrecht auffallender Strahl auf sich selbst zurückgeworfen und daher kein leuchtendes Bild hervorbringen.



Die relative Lage des Bildes eines Gegenstandes, das in einer reflectirenden Fläche gesehen wird, ist so beschaffen, daß jeder Theil so weit hinter der Fläche erscheint, als der Gegenstand selbst sich vor derselben befindet. Es sei AB ein Planspiegel und EF was immer für ein Gegenstand, z. B. ein Pfeil; dann ziehe man von den Punkten E und F die senkrechten Linien EG und FH auf die Oberfläche des Spiegels und verlängere diese Linien bis e und f, sodaß EG gleich ist eG und FH gleich ist fH, so wird ef die Lage des Bildes sein, welches dem Gegenstande ganz gleich ist, sowie das Viereck GefH dem Viereck GEFH. Aus der Betrachtung dieser Figur ergibt sich, daß die Lichtstrahlen, die von jenem Theile des Gegenstandes ausgehen, der sich der Oberfläche des Spiegels am nächsten befindet, so reflectirt werden, daß sie den Theil des Bildes formiren, welcher der Fläche des Spiegels in entgegengesetzter Richtung am nächsten ist. Wenn daher Gebäude oder Bäume oder andere Gegenstände von einer horizontalen Fläche, wie z. B. einem Teiche oder einem glatten Strome, zurückgestrahlt werden, so werden sie verkehrt erscheinen; denn da die untern Theile der reflectirenden Fläche am nächsten sind, so werden sie unmittelbar innerhalb derselben gesehen, während ihre Gipfel niederwärts zu hangen, oder sich jenseit der Oberfläche tiefer auszudehnen scheinen.

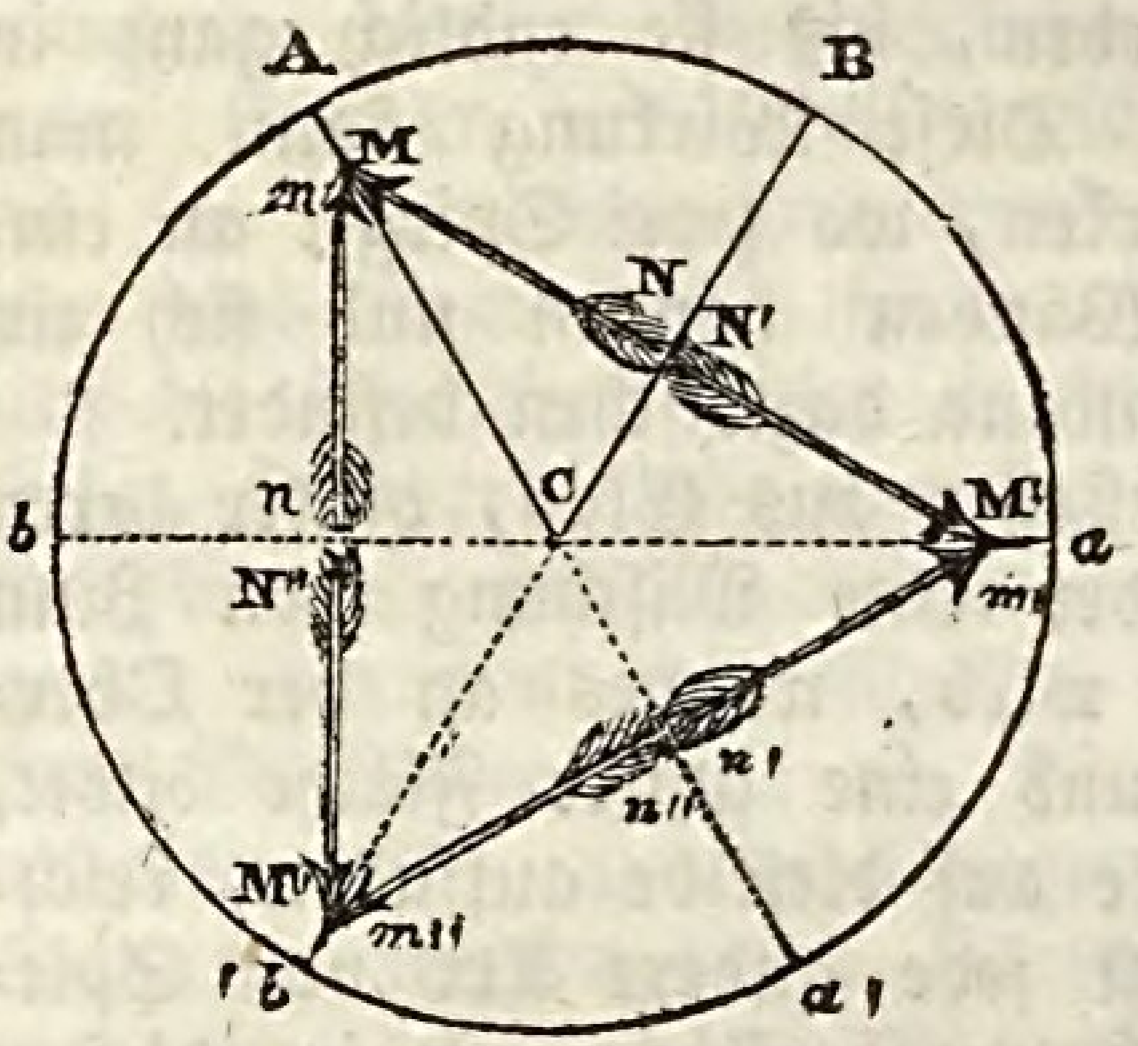


Wenn ein Spiegel C, wie in der nebenstehenden Figur, so geneigt ist, daß er einen Winkel von 45 Graden bildet, so wird ein Gegenstand AB, der sich in einer senkrechten Lage befindet, das horizontale Bild ab formiren, und wenn die Lage des Gegenstandes horizontal ist, wird die des Bildes vertikal sein.

Eine Person, die vor einem Planspiegel steht, welcher vor ihr in senkrechter Richtung befestigt ist, wird das Bild ihrer ganzen Person nicht sehen, wenn die Länge des Spiegels weniger als die Hälfte ihrer Höhe beträgt. Wenn man jedoch den vordern Theil des Spiegels vorwärts neigt, so wird von dem Bilde, und zwar im Verhältnisse zu den Dimensionen des Spiegels, mehr sichtbar werden, als wenn derselbe senkrecht befestigt ist. Es kann sich daher eine Person von Kopf bis zum Fuß in einem Spiegel von mäßiger Größe sehen, wenn sie demselben die erforderliche Neigung gibt, dann aber wird das Bild sowie der Spiegel in einer schiefen Richtung erscheinen.

Wer in einen befestigten Spiegel sieht und zu gleicher Zeit rückwärts schreitet, oder vorwärts tritt, wird gewahren, daß auch sein Bild zurückweicht, oder näher kömmt, jedoch mit der doppelten Geschwindigkeit der wirklichen Bewegung. Dies wird man einsehen, wenn man sich an Das erinnert, was im Betreff des Winkels, unter welchem das Bild gesehen wird, gesagt worden ist.

Durch zwei Spiegel, die entweder geneigt oder parallel, aber einander gegenüber sind, können eine Anzahl Bilder formirt und eigenthümliche Wirkungen hervorgebracht werden, denn das Bild des Gegenstandes, welches sich hinter dem einen Spiegel zeichnet, kann dergestalt als Gegenstand dienen, um von der Oberfläche des andern Spiegels zurückgestrahlt zu werden.



Wenn irgend ein Gegenstand, z. B. MN, zwischen zwei Planspiegeln sich befindet, die gegeneinander in dem Winkel ABC geneigt sind, so werden sich mehre Bilder zeigen, die sämmtlich im Umkreise eines Zirkels liegen. Dies läßt sich darthun, wenn man das Bild an seiner Stelle hinter jedem Spiegel zeichnet, und jedes Bild hinwieder als einen Gegenstand betrachtet, dessen Bild gleichfalls gezeichnet wird. Das Bild von MN in dem Spiegel AC ist mn, in dem Spiegel BC ist es M'N'; auf dieselbe Weise wird das durch die Reflexion des ersten Bildes mn in bC formirte sein M''N'', während das Bild von M'N' in aC sein wird m'n'. Es wird ferner m''n'' das Bild sowol von M''N'' im Spiegel b'C als von m'n' in dem Spiegel a'C sein, da eines der Bilder das andere deckt, wenn der Winkel ACB 60° oder den sechsten Theil eines Zirkels beträgt, wie in den Figuren; wenn jedoch der Winkel größer oder kleiner ist, so wird das Bild m''n'' doppelt sein, das ist, die beiden Bilder werden nicht genau einander decken. Nach diesem Princip ist das Kaleidoskop*) verfertigt, welches Sir J. Brewster erfunden hat und in welchem die reflectirten Bilder, von einem besondern Punkte aus gesehen, symmetrische Figuren von unendlicher Mannigfaltigkeit und schönen Formen und Farben liefern.

Wenn zwei Spiegel einander gegenüber und parallel sind, so gewahrt man eine unendliche Menge von Bildern, welche durch wiederholte Reflexion immer undeut-

---

*) Von καλὸς schön, εἶδος Bild und σκοπέω ich sehe.

licher und undeutlicher werden, bis sie endlich ganz in Dunkelheit verschwinden. Diese Wirkung kann man häufig in Gemächern bemerken, wo zwei Spiegel an einander gegenüberstehenden Wänden hängen und sich ein Lustre oder sonst ein Gegenstand dazwischen befindet.

Gewöhnliche Spiegel bestehen aus Glas, hinter deren Wänden ein Amalgam oder eine Mischung von Zinn und Quecksilber angebracht wird, welches an der Oberfläche des Glases anklebt und eine glatte Fläche bildet, welche die Lichtstrahlen, die auf dieselbe auffallen, reichlicher zurückstrahlen als fast jede andere Art von Spiegeln. Die reflectirende Hauptoberfläche ist in diesem Falle diejenige, wo die metallische Decke den Rücktheil des Glases berührt, und das da unter gewöhnlichen Umständen formirte Bild ist so klar und bestimmt, daß kein anderes gewahrt wird. Wenn man jedoch eine brennende Kerze vor einen Glasspiegel hält, so daß die Strahlen schief auf das Glas auffallen, so wird man mehre Bilder bemerken; nämlich ein schwaches auf der äußern Oberfläche, ein anderes viel schärferes grade hinter dem ersteren, und mehre andere, die allmälig zurückweichen und immer schwächer und schwächer werden, bis sie in der Ferne verschwinden. Das erste schwache Bild wird durch die Reflexion von der äußern Oberfläche des Glases gebildet, das zweite oder Hauptbild an der Oberfläche des Amalgams und die übrigen durch Reflexion innerhalb des Glases. Diese sich dazwischen mischenden secundären Bilder sind zwar in einem gewöhnlichen Spiegel von keiner Wichtigkeit, würden aber in genauern optischen Instrumenten, z. B. in dem Spiegelteleskop, Verwirrungen verursachen; die Spiegel derselben sind daher lediglich aus polirtem Metall verfertigt, welche blos eine reflectirende Oberfläche haben, folglich auch nur ein Bild darbieten.

Unter den natürlichen Erscheinungen, welche durch die Zurückwerfung des Lichtes hervorgebracht werden, ist die atmosphärische Reflexion die wichtigste, denn ohne sie

würden wenige Gegenstände mit Ausnahme derjenigen, sichtbar sein, auf welche die Strahlen der Sonne in einer geraden Linie zwischen jenem Lichtkörper und dem Auge fallen. Da aber die Lichtstrahlen auf die Theilchen fallen, aus denen die Atmosphäre besteht, so werden sie von da in jeder Richtung zurückgestrahlt und so Tageslicht hervorgebracht, obgleich der ganze Horizont mit Wolken bedeckt und die Sonne unsern Blicken entzogen ist. Wenn es keine Reflexion gäbe, würden alle undurchsichtigen Körper völlig schwarze Schatten werfen, und so wir der Sonne den Rücken wendeten, wären alle Gegenstände von uns in die tiefste Dunkelheit gehüllt.

Einige der weniger gewöhnlichen Phänomene, welche durch die atmosphärische Reflexion hervorgebracht werden, sind äußerst merkwürdig, wie dasjenige, welches die Spiegelung (mirage) genannt wird, und verschiedene andere Lufterscheinungen ähnlicher Art. Die Spiegelung wird gewöhnlich in sandigen Ebenen heißer Klimate wahrgenommen, wie in Ägypten und Südamerika, und ist von Reisenden häufig beschrieben worden. Um die Tagesmitte, wenn die Sonne die ebene Sandfläche bescheint, bemerkt man einen Wasserstreif in der scheinbaren Entfernung von ungefähr einer halben Viertelstunde, und die Täuschung ist so vollständig, daß jede mit ihrer Ursache unbekannte Person glauben muß, sie nähere sich in der That einem See oder Flusse. Gleich wirklichem Wasser reflectirt der Scheinsee die Gegenstände ringsum, so daß Häuser, Bäume, Thiere mit der größten Deutlichkeit in diesem merkwürdigen Spiegelbilde gesehen werden. Sowie der Beschauer vorrückt, weicht der Scheinstrom zurück und behält dieselbe scheinbare Entfernung bei, nur wechselt die Scene durch Verschwinden der zuerst gesehenen Bilder, und durch Formation neuer von andern Gegenständen, wie sie nach und nach der Zurückstrahlung unterliegen. Der französische Naturforscher Monge, welcher dieses Phänomen in Ägypten beob-

achtete, machte in dem ersten Bande der **Decade Egyptienne** eine sehr befriedigende Erklärung davon bekannt, und ungefähr um dieselbe Zeit gab **Dr.** Wollaston in den „Philosophical Transactions" eine ähnliche Auseinandersetzung der Ursache. Der Letztere brachte eine künstliche Spiegelung mittels über einer Masse rothglühenden Eisens erhitzten Luft hervor, und dieselbe Erscheinung bemerkte er an Körpern, welche durch die Oberflächen zweier Flüssigkeiten von verschiedener Refraction, die in einem durchsichtigen Gefäße über einander geschichtet waren, gesehen wurden. Er erklärt das Phänomen so: Um die Mitte des Tages wird der sandige Boden sehr heiß, die denselben berührende Luftschichte erwirbt eine sehr hohe Temperatur, wird dadurch ausgedehnt und hat daher eine geringere Dichte als die unmittelbar neben ihr sich befindlichen Schichten; die Lichtstrahlen, welche auf diese ausgedehnten Schichten in einem Winkel auffallen, der in einer gewissen Grenze innerhalb 90° eingeschlossen ist, werden daher von ihrer Oberfläche wie von einem Spiegel zurückgeworfen, und führen dem Beobachter das verkehrte Bild der unteren Theile des Firmamentes zu, welche auf der Verlängerung der empfangenen Strahlen gesehen werden, mithin diesseit des eigentlichen Horizontes erscheinen. In diesem Falle und wenn nichts den Irrthum bemerklich macht, werden die Grenzen des Horizontes niedriger und näher scheinen als sie es wirklich sind. Wenn einige Gegenstände, z. B. Dörfer, Bäume u. s. w., dem Beobachter beweisen, daß die Grenzen des Horizontes entfernter sind und daß das Firmament nicht so niedrig ist als es scheint, so wird das reflectirte Bild des Himmels eine reflectirende Wasserfläche zu bilden scheinen. Die Dörfer und Bäume senden Strahlen aus, welche gerade so reflectirt werden, wie es die Strahlen geworden sein würden, die von dem durch sie aufgefangenen Theil des Firmamentes kommen. Und diese Strahlen werden ein verkehrtes Bild unterhalb der Gegenstände hervorbringen, die man durch

directe Strahlen sieht. Da die Grenze, in welcher die Lichtstrahlen reflectirt zu werden beginnen, nicht wechselt (konstant ist), und da die Strahlen, welche den größten Winkel mit dem Horizont bilden, von dem Punkte zu kommen scheinen, welcher dem Orte am nächsten ist, wo das Phänomen anfängt, so muß sich dieser Punkt in einer nie wechselnden (konstanten) Entfernung von dem Beobachter befinden; wenn er daher vorschreitet, wird die Grenze des Sees zurück zu weichen scheinen, wie dies auch wirklich geschieht.

Die Herren Jurine und Soret bemerkten im September 1818 auf dem Genfersee ein der Spiegelung ähnliches Phänomen, welches jedoch, statt durch die horizontale Reflexion verursacht zu sein, seitlich durch die Erwärmung der vertikalen Luftschichten in den Bergabhängen hervorgebracht wurde, welche den See begrenzen, wo die Erscheinung sich zutrug.

Diejenigen meteorologischen Phänomene, welche man Nebenmond und Nebensonne nennt, scheinen durch Reflexion hervorgebracht zu werden. Wenn der Mond nach Mittag, folglich zu einer Zeit aufgeht, welche dem Erscheinen der Spiegelung günstig ist, und wenn das Licht der Sonne und die Reinheit der Atmosphäre den Mond zu sehen gestattet, gerade wie er über den Horizont emporsteigt, so können zwei Bilder dieses Satelliten gesehen werden. Eine Nebensonne sieht man zuweilen zur See, sie ist aber eine viel seltenere Erscheinung als die vorhergehende, hängt jedoch von einer ähnlichen Ursache ab. Im März des Jahres 1629 wurden zu Rom vier Nebensonnen gesehen, wovon die eine die Farben des Regenbogens zeigte, die anderen aber nur schwach gefärbt waren. Cassini beobachtete im Jahre 1689 Nebensonnen; auch sind sie in England, Schottland und Nordamerika gesehen worden.

Aus denselben Grundsätzen wie die Spiegelung läßt sich die Erhöhung von Gegenständen erklären, welche man, besonders zur See, in dem fernen Horizont über

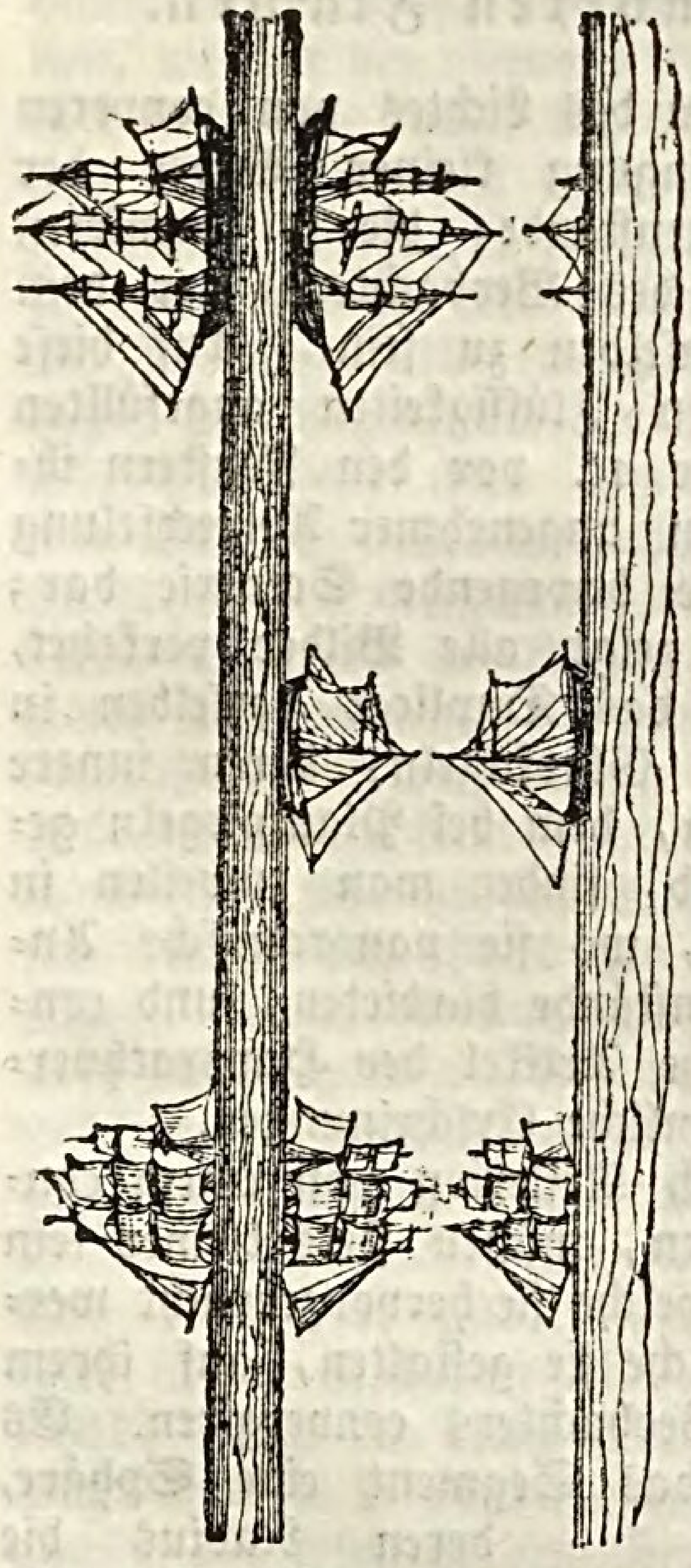
ihrer eigentlichen Ebene sieht; die Fata Morgana, die man in den Meerengen von Messina bemerkt, und die sonderbaren Erscheinungen von Schiffen und anderen Gegenständen in der Luft zuweilen in gerader, öfter aber in verkehrter Stellung.

Folgende Abbildungen sind nach Zeichnungen von Lufterscheinungen gegeben, die man zu Dover im Mai des Jahres 1833 beobachtete*). Wenn das wirkliche Schiff sichtbar ist, so kann ein doppeltes Bild formirt werden, welches aus einem verkehrten Bilde unmittelbar über dem Schiffe selbst und einem zweiten aufrechten Bilde unmittelbar über jenem besteht. Wenn nur ein einziges Bild sich zeigt, so ist es gewöhnlich in Bezug auf das wirkliche Schiff unter demselben verkehrt. Zuweilen erscheint ein Doppelbild, oder ein gerades Bild mit einem verkehrten unter demselben, wenn das so reflectirte Schiff noch völlig unsichtbar ist, oder wenn man vielleicht die Spitzen seiner Hauptmassen sieht, während die übrigen Theile in Folge der Wölbung der Erde noch verborgen sind.

---

*) Die Zeitschrift „das Ausland" meldete kürzlich, daß in diesem Jahre (1835) zu Glasgow in Schottland (wenn ich nicht irre) in der Luft ganze Reitergeschwader erschienen, welche förmliche Evolutionen ausführten. Die Erscheinung wurde mit der Dämmerung immer undeutlicher und verschwand endlich gänzlich. Man hat nicht ermittelt, wo die Cavallerie exercirte, deren Luftbilder gesehen wurden.

Anm. des Uebers.



Die Art, wie diese und ähnliche Phänomene durch Reflexion verursacht werden, läßt sich mit Bezugnahme auf die Analogie sphärischer Spiegel, von denen später die Rede sein wird, erklären. Aber es ist wahrscheinlich, daß in allen Fällen, wo doppelte Bilder des Gegenstandes erscheinen, die Wirkung hauptsächlich von der Brechung des Lichtes in Folge der wechselnden Dichtigkeit der Atmosphäre abhängt; die Umstände, in welchen ein solcher Zustand der Luft hervorgebracht werden kann, sind von Dr. Wollaston angegeben und erläutert worden *).

In Bezug auf die Fata Morgana sagt Dr. T. Young: „Es kann in einem sich allmälig ändernden Medium häufiger geschehen, daß eine Zahl verschiedener Lichtstrahlen in Winkeln abgebogen werden, die den Auffallswinkeln gleich sind, und in dieser Beziehung gleicht die Wirkung eher der Reflexion als der Refraction **).“

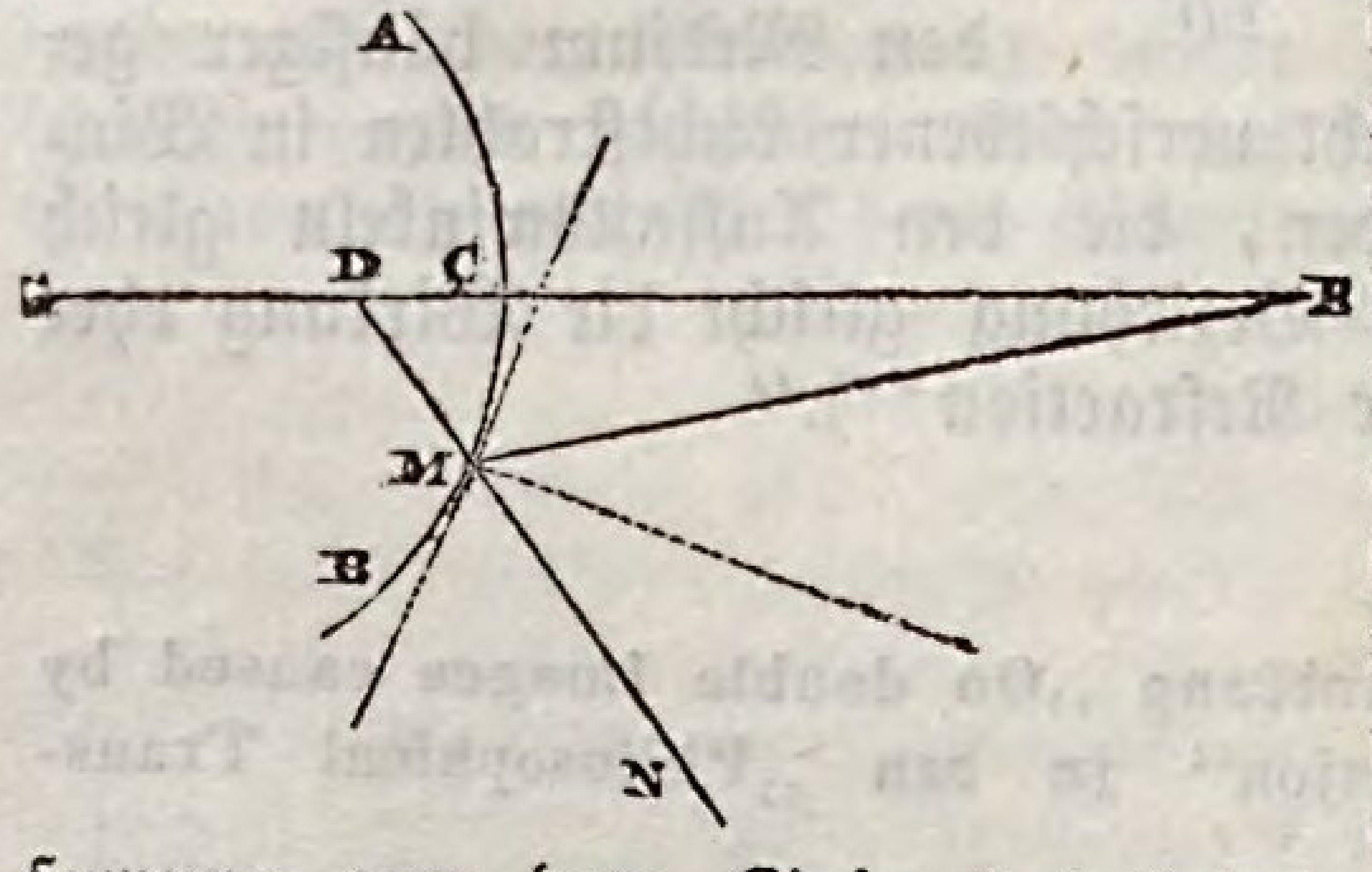
*) Siehe die Abhandlung „On double Images caused by Atmospherical Refraction“ in den „Philosophical Transactions for 1800.“

**) Lectures on Natural Philosophy, vol. II. p. 302.

Reflexion von converen Flächen.

Die Wirkung der Reflexion des Lichtes von converen Spiegeln ist die Hervorbringung kleiner Bilder der ihnen gegenüberliegenden Gegenstände; die so formirten Bilder scheinen den Augen des Beobachters vor dem Spiegel, in oder hinter demselben zu sein. Auf diese Art bieten die mit gefärbten Flüssigkeiten angefüllten Glaskugeln, welche Apotheker rc. vor den Fenstern ihrer Buden hängen haben, in angenehmer Abwechselung die sich außen auf der Straße bewegende Scenerie dar; die obere Hälfte der Kugel zeigt alle Bilder verkehrt, die untere Hemisphäre aber das Duplicat derselben in aufrechter Stellung. Hohle Glaskugeln, deren innere Flächen mit einem Amalgama, dem bei Planspiegeln gebrauchten ähnlich, belegt sind, findet man zuweilen in den Gemächern aufgehangen, wo sie panoramische Ansichten der umgebenden Gegenstände darbieten, und convexe Spiegel sind gewöhnliche Artikel der Hausrathverzierung und ergötzen durch ähnliche Erscheinungen.

Die Bilder, welche durch Reflexion von einem convexen Spiegel formirt werden, müssen stets kleiner sein als die Gegenstände, durch welche sie hervorgebracht werden, weil die Strahlen, welche sie gestalten, auf ihrem Wege zu den Augen des Beobachters convergiren. Es sei AB ein Convexspiegel, das Segment eine Sphäre,



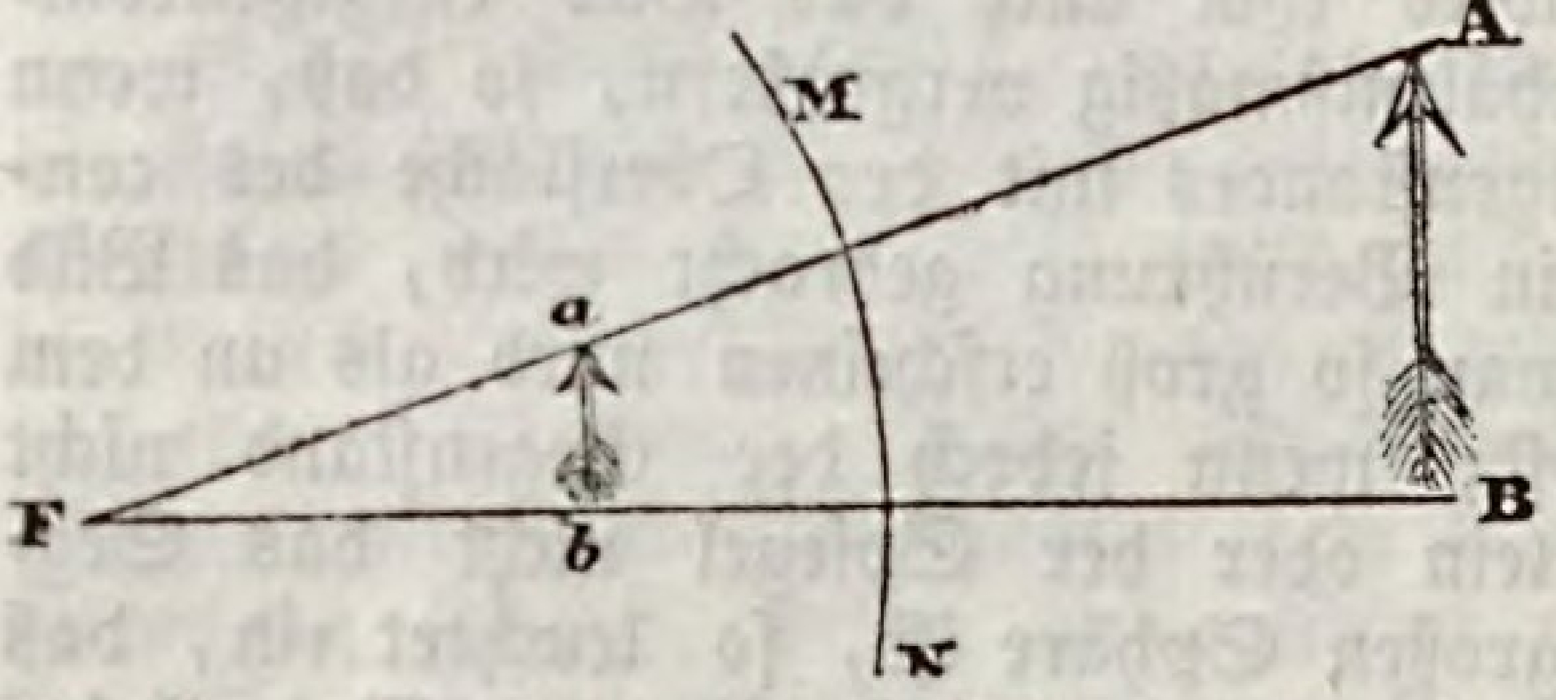
deren Radius die Linie GC ist; der Punkt G wird daher der Mittelpunkt der Sphäre und der Focus des Spiegels sein. Wenn ein Gegenstand sich zu E in einer großen Entfernung von dem Spiegel befindet, so wird sein Bild

hinter dem Spiegel an einem Punkte, nahe bei **D** erscheinen, welcher der virtuelle Focus (Brennpunkt) werden und in der halben Länge des Radius der Sphäre liegen wird, und die Größe des Bildes wird sich zu jenem des Gegenstandes verhalten wie die Linie **CD** zu **CE**, das heißt, es wird um so viel kleiner sein denn der Gegenstand, als die Linie **CD** kürzer ist als die Linie **CE**. Wenn daher der Gegenstand der Oberfläche des Spiegels näher gebracht wird, wird ihm auch das Bild entgegenkommen und sich verhältnißmäßig vergrößern, so daß, wenn ein Theil des Gegenstandes mit der Oberfläche des convexen Spiegels in Berührung gebracht wird, das Bild dieses Theiles genau so groß erscheinen wird als an dem Gegenstande selbst; wenn jedoch der Gegenstand nicht außerordentlich klein oder der Spiegel nicht das Segment einer sehr großen Sphäre ist, so leuchtet ein, daß nur ein kleiner Theil des Gegenstandes den Spiegel berühren kann, weswegen das ganze Bild an Umfang stets etwas geringer sein muß, als der Gegenstand, durch welchen es hervorgebracht wird. Nicht nur werden die Strahlen, welche direct auf den Spiegel auffallen, wie **EC**, so reflectirt, daß sie ein Bild bei **D** bilden, sondern auch jeder andere auffallende Strahl, z. B. **EM**, wird in der Richtung **MN** reflectirt, so daß der Winkel **BMN** gleich ist dem Winkel **CME** *); und wenn das Auge sich bei **N** befindet und den reflectirten Strahl **MN** empfängt, wird es den Gegenstand **E** in dieser Richtung

*) Jeder auf die Oberfläche eines converen Spiegels schief auffallende Strahl kann als auf einen Punkt stoßend angesehen werden, welcher den Theil einer die gekrümmte Oberfläche des Spiegels tangirenden Ebene bildet, und eine auf eine solche Tangentialebene perpendiculär gezogene Linie wird den durch den auffallenden und reflectirten Strahl gebildeten Winkel in zwei gleiche Hälften schneiden, wie dies die punktirten Linien in der Figur zeigen.

sehen und das Bild wird daher im Spiegel bei D erscheinen.

Ein converer Spiegel verwandelt durch Reflexion parallele Strahlen in divergirende Strahlen; diejenigen, welche in divergirenden Linien auffallen, divergiren noch mehr, und convergirende Strahlen werden entweder parallel oder minder convergirend reflectirt. Es befinde sich ein Gegenstand von einiger Größe AB vor einem



converen Spiegel MN, so werden die Lichtstrahlen, die von jedem Theile desselben ausgehen, gleichwie an einem einzigen Punkte reflectirt und das Bild wird wie zuvor in den Linien formirt werden, welche von jeder Extremität des Gegenstandes zu dem imaginären Focus des Spiegels, F, gezogen sind, und auf dieselbe Weise auch von dem andern Punkte, so daß ein vollkommenes Bild des Gegenstandes entsteht. Und dieses Bild muß nothwendiger Weise kleiner erscheinen als der Gegenstand selbst; denn die Strahlen, welche von der Extremität A ausgehen, werden so zum Auge zurückgestrahlt als ob sie vom Punkte a ausgingen, und diejenigen welche von B ausgehen, so, als ob sie von b ausgingen, während die Strahlen, welche von den Punkten zwischen A und B ausgehen, so reflectirt werden, als ob sie von den Punkten zwischen a und b ausgingen, folglich muß das Bild kleiner sein als der Gegenstand, durch welchen es hervorgebracht wird.

Ein von einem converen Spiegel zurückgestrahlter Gegenstand wird nicht nur ein im Verhältnisse verkleinertes, sondern auch in den Umrissen mangelhaftes Bild liefern; denn der virtuelle Focus der Reflexion wird wegen der verschiedenen Theile derselben Figur auch ein verschiedener sein; wenn daher der Gegenstand nicht sehr

klein, oder die Biegung des Spiegels sehr groß ist, so wird nur der Mitteltheil des Gegenstandes ein genaues Bild geben. Dies wenigstens wird die Wirkung sein, wenn die Krümmung des Spiegels nicht sehr genau formirt und ausdrücklich zu diesem Zwecke angepaßt worden ist. Der menschliche Augapfel bildet einen bewunderungswürdigen converen Spiegel, welcher kleine Bilder reflectirt, deren Zartheit und Schönheit oft Gegenstand poetischer Anspielungen und Gleichnisse gewesen sind. Hier gewahren wir ein auffallendes Beispiel der unendlichen Überlegenheit der Werke der Natur über jene der Kunst.

Eine convexe reflectirende Oberfläche von verschiedener Krümmung kann sehr lächerliche Caricaturen der menschlichen Gestalt, oder der jedes andern Thieres hervorbringen, besonders wenn der Gegenstand dem Spiegel sehr nahe gebracht wird. Jener Theil der Oberfläche, der am meisten vorragt, wird ein vergleichungsweise kleines Bild geben und die Wirkung dadurch erhöht, daß man abwechselnd verschiedene Theile der Person vorstreckt oder zurückzieht, auf welche Weise man z. B. ein sehr bemerkliches Mißverhältniß zwischen Kopf und Leib oder Füßen hervorbringen kann. Denn wenn man, während man in der Nähe des Spiegels steht, Kopf und Rumpf zurückbeugt, so wird das Bild einen sehr kleinen Kopf und Leib zeigen, getragen von äußerst angeschwollenen und unförmlichen Beinen; wenn man im Gegentheile etwas mehr rückwärts steht und den Leib neigt und den Kopf gegen den Spiegel vorstreckt, so wird man einen ungeheuren wassersüchtigen Leib und Kopf haben, der auf Spindelbeinen sitzt.

Sir David Brewster hat in dem Philosophical Magazine seine Ansicht über einen sehr merkwürdigen converen Metallspiegel niedergelegt, welcher kürzlich von China nach Kalkutta gebracht worden ist, dessen Aussehen und Wirkung folgendermaßen beschrieben wird: „Dieser Spiegel hat eine cirkelrunde Gestalt und ungefähr 5 Zoll im Durchmesser. Im Mittelpunkte des

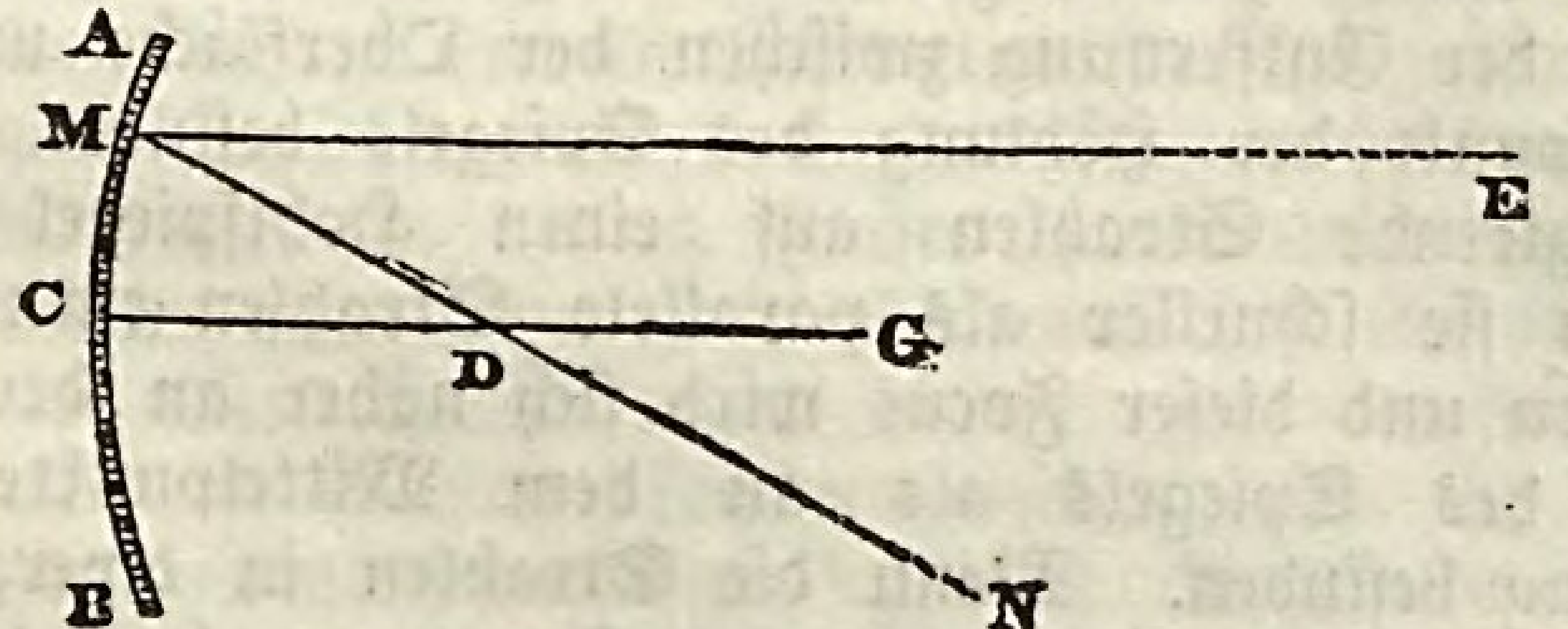
Rückens befindet sich ein Knopf, an dem er gehalten werden kann, und auf den übrigen Raum des Rückens sind in erhabener Arbeit Kreise mit einer Art von griechischer Randverzierung aufgeprägt. Die polirte Fläche hat jenen Grad von Convexität, welcher einem Bilde die Hälfte seiner natürlichen Größe giebt und die merkwürdige Eigenschaft besteht darin, daß man, wenn man die Sonnenstrahlen von der polirten Oberfläche abprallen läßt, das Bild der Randverzierung und der Kreise, die auf dem Rükken geprägt sind, deutlich an der Wand reflectirt sieht." Herr Swinton, der aus Ostindien diesen Bericht über die scheinbare Reflexion von Figuren durch eine undurchsichtige Substanz einsandte, versucht diese seltsame Erscheinung als eine Folge der verschiedenen Dichtigkeit in verschiedenen Theilen des Metalls muthmaßungsweise zu erklären, welche Verschiedenheit durch das Aufprägen der Figuren auf dem Rücken entstanden wäre, so daß das Licht mehr oder minder stark von den Theilen reflectirt würde, die mehr oder minder stark zusammengerückt worden sind. Sir D. Brewster jedoch schließt aus der Beschreibung, welche allein ihm zugekommen war, daß „das Bild in den leuchtenden Flächen nicht das Bild der Figuren auf dem Rücken sei, daß vielmehr die Figuren eine Copie des Gemäldes wären, welches der Künstler auf der Oberfläche des Spiegels gezeichnet und durch die Politur so verborgen hätte, daß es bei gewöhnlicher Beleuchtung unsichtbar wäre und nur in den Strahlen der Sonne zum Vorschein gebracht werden könnte." Er hatte bemerkt, daß strahlige Linien und concentrische Kreise auf ähnliche Weise durch das Licht der Sonne von polirten Stahlknöpfen reflectirt wurden, welche auf einer Drehbank gefertigt und deren Linien und Ringe durch die Wirksamkeit des Polirpulvers oder eine andere ähnliche Ursache hervorgebracht worden waren, jedoch viel zu schwach, um außer bei der stärksten Beleuchtung gesehen zu werden. Es waren daher die Figuren auf dem

Rücken des chinesischen Spiegels ohne Zweifel blos darum angebracht, damit der Beobachter zu dem Glauben verleitet würde, er sehe sie durch das Metall reflectirt, während er eigentlich doch nur die Reflexion des Duplicates dieser Figuren sah, die auf der vorderen Oberfläche sehr zart aufgetragen und von der Politur verborgen waren.

Reflexion von concaven Flächen.

Concave Spiegel bilden eine Vielfachheit von Phänomenen, welche von der Lage des Gegenstandes in Beziehung auf den Spiegel und den Beobachter abhängen und in hohem Grade merkwürdig und interessant sind. „Der Hohlspiegel," sagt Sir David Brewster, „ist das Stapelinstrument im Cabinet des Magikers und muß stets eine Hauptrolle in allen optischen Combinationen spielen *)." Einige der außerordentlichsten optischen Effecte in der Natur werden gleichfalls durch die Reflexion von concaven Oberflächen hervorgebracht, deren Eigenschaften daher eine nähere Prüfung fordern.

Die Art, wie das Licht von Hohlspiegeln reflectirt wird, läßt sich so erklären: Es sei ACB ein Spiegel,



der einen Theil einer Sphäre bildet, dessen Mittelpunkt G und dessen Radius GC ist, und E sei ein vom Spiegel weit entfernter Gegenstand. Das Bild desselben

*) Letters on Natural Magic, p. 61.

wird dann vor dem Spiegel bei D, dem Mittelpunkt des Radius CG, erscheinen. Denn jeder Lichtstrahl, wie EM, des Gegenstandes E, der die Oberfläche des Spiegels im Punkte M trifft, wird so zurückgeworfen werden, daß er durch den Punkt D geht, und wenn das Auge sich bei N befindet, wird es den Gegenstand bei oder in der Nähe von D sehen; aber das Bild wird sich zum Gegenstande verhalten wie CD zu ME, folglich kleiner sein als der Gegenstand. Wenn man den Gegenstand dem Spiegel näher rückt, so wird das Bild von D gegen G rücken; wenn man den Gegenstand nach G bringt, werden Bild und Gegenstand zusammenfallen; wenn der Gegenstand von G aus noch weiter vorgerückt wird, zieht sich das Bild jenseit G zurück, bis der Gegenstand bei D anlangt, wo dann das Bild in unendlicher Ferne hinter E erscheinen wird. Wenn man jedoch den Gegenstand noch weiter zwischen D und C vorrückt, wird das Bild hinter den Spiegel fallen und größer aussehen als der Gegenstand.

Es ergiebt sich daher, daß, wenn parallele Strahlen auf die Fläche eines Hohlspiegels fallen, der einen Theil einer Sphäre bildet, sie zurückgestrahlt werden und in einem Punkte zusammentreffen, der sich auf der Hälfte der Entfernung zwischen der Oberfläche und dem Mittelpunkt der Höhlung des Spiegels befindet. Wenn convergirende Strahlen auf einen Hohlspiegel fallen, werden sie schneller als parallele Strahlen einen Focus erreichen und dieser Focus wird sich näher an der Oberfläche des Spiegels als an dem Mittelpunkte seiner Höhlung befinden. Wenn die Strahlen in divergirenden Linien auffallen, so wird der Focus, nach welchem sie reflectirt werden, entfernter sein als derjenige, nach welchem parallele Strahlen zurückgeworfen werden.

Es giebt drei Fälle, die in Bezug auf die Wirkungen der Hohlspiegel in Betracht gezogen werden müssen:

1. Wenn der Gegenstand sich zwischen dem Spiegel und dem Hauptfocus befindet.

2. Wenn der Gegenstand sich zwischen dem Centrum der Concavität des Spiegels und dem Hauptfocus befindet.

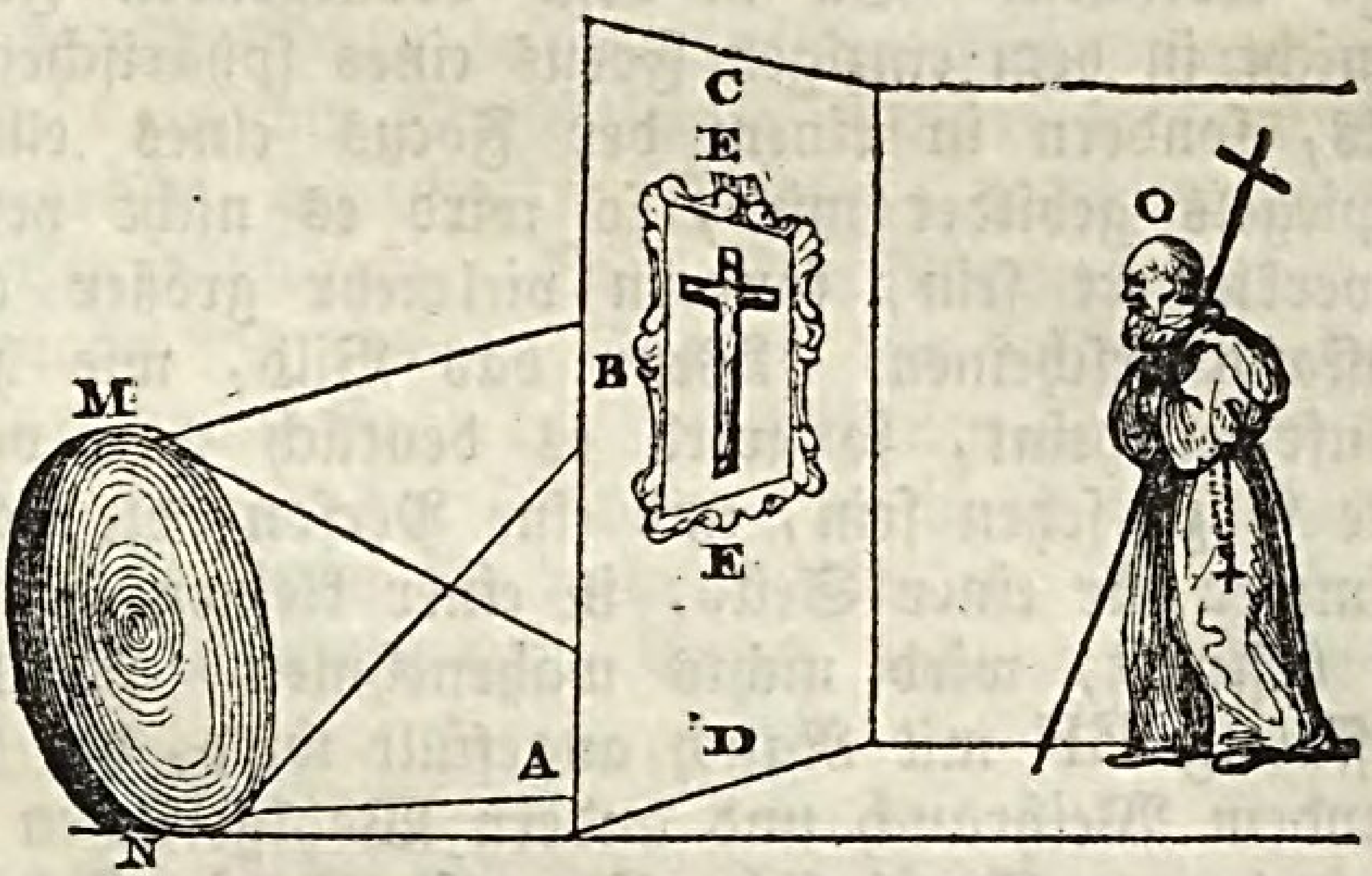
3. Wenn er entfernter ist, als das Centrum der Concavität.

1. Da im ersten Falle die Lichtstrahlen nach der Reflexion divergiren, aber in einem geringern Grade als bevor eine solche Reflexion stattfand, so wird das Bild größer sein als der Gegenstand und in einer größern oder geringern Entfernung der Oberfläche des Spiegels und zwar hinter demselben erscheinen. Das Bild wird in diesem Falle aufrecht sein. 2. Wenn der Gegenstand sich zwischen dem Hauptfocus und dem Mittelpuncte des Hohlspiegels befindet, so wird das Bild hinter dem Gegenstande sein und zwar sehr fern erscheinen, wenn der Gegenstand entweder an oder nahe bei dem Focus ist; es wird aber gegen denselben vorrücken, sowie er nach dem Centrum der Concavität zurückweicht, wo, wie bereits erwähnt worden, Bild und Gegenstand sich decken werden. Während dieses Zurückweichens des Gegenstandes wird das Bildniß fortwährend aufrecht sein, weil die Strahlen, die zu jedem sichtbaren Punkte gehören, sich nicht durchschneiden, bevor sie das Auge erreichen. Aber das Bild wird in diesem Falle immer undeutlicher und undeutlicher, zu gleicher Zeit als der Sehwinkel zunimmt, sodaß am Mittelpuncte oder etwas von demselben das Bild verworren und trüber wird, weil die kleinen Theile des Gegenstandes zu großen Sehwinkeln unterzogen werden, um deutlich gesehen werden zu können, gerade wie sich dies begiebt, wenn man Gegenstände mit den nackten Augen in zu großer Nähe betrachtet. 3. In den eben erwähnten Fällen werden die Bilder aufrecht erscheinen, aber im Falle, als der Gegenstand vom Spiegel weiter entfernt ist als das Centrum der Sphäre, wovon der Hohlspiegel einen Bogen bildet, wird das

Bild verkehrt erscheinen; und je mehr der Gegenstand von diesem Mittelpunkte entfernt ist, desto kleiner wird das Bild sein und zugleich desto entfernter vom besagten Mittelpunkte oder desto näher dem Focus, und umgekehrt, so daß Bild und Gegenstand sich decken, wenn der letztere genau nach diesem Centrum gebracht wird, wie im vorigen Falle schon erwähnt worden. Wenn ein Beobachter sein eigenes Bild von einer beträchtlichen Entfernung jenseit des Mittelpunktes eines Hohlspiegels sieht, wird das Bild klein, schwach und etwas undeutlich erscheinen. Die Ursache davon ist die geringe Anzahl der Strahlen, welche das Auge treffen können; daher wird die scheinbare Entfernung vermehrt oder ungewiß gemacht, so daß man glaubt, das Bild befinde sich jenseit oder innerhalb des Spiegels, und dieser Irrthum vermehrt die Verwirrung. So wie der Beobachter sich dem Spiegel nähert, erscheint sein Bild allmälig größer und heller und rückt ihm gleichfalls näher; aber wenn er es nicht zwischen sich selbst und dem Spiegel sieht, wird es fortwährend undeutlich bleiben. Endlich wird er an einen Punkt langen, wo das Bild eine regelmäßige und sichere Gestalt annimmt und vollkommen deutlich erscheint. Nach einigen Versuchen kann der eigentliche Platz für die Betrachtung des Bildes mit untrüglicher Genauigkeit ausgemittelt werden und es wird fortfahren, deutlich wahrnehmbar zu sein, wenn der Beobachter sich eine kurze Strecke von dem eigentlichen Punkte vorwärts oder rückwärts bewegt; wenn er aber sich weiter vorwärts bewegt, wird das Bild bald anfangen undeutlich zu sein, und diese Undeutlichkeit wird zunehmen, bis er dem Spiegel so nahe kommt als dessen Centrum der Concavität, wo das Bild sich in Verwirrung verlieren wird. Wenn er noch weiter vorrückt, kömmt ein Bild in aufrechter Stellung allmälig zum Vorschein, wie dies im vorigen Falle erklärt worden ist.

Die merkwürdigsten und interessantesten Wirkungen der Hohlspiegel sind diejenigen, welche sich aus der Lage

der Gegenstände in größerer Entfernung vom Spiegel ergibt als dessen Centrum der Concavität, wie bei dem dritten eben beschriebenen Falle, wo sich ein verkleinertes und umgekehrtes Bild in der Luft zwischen dem Gegenstande und dem Spiegel gestaltet. Um dieses im besten Vortheile zu sehen, müssen sowol dem Gegenstande als dem Beobachter gewisse Stellungen angewiesen werden, welche durch die Concavität des Spiegels und seine daraus entspringende Focaldistanz bestimmt werden. Um solche Erscheinungen darzustellen, sind jedoch sphärische Hohlspiegel nicht so passend als solche, die eine elliptische Gestalt haben, denn da die letzteren zwei Focus haben, so wird jeder Gegenstand, der in den einen Focus eines elliptischen Hohlspiegels gestellt wird, ein genaues Bild in dem andern werfen.



Die vorstehende Figur zeigt eine passende Anordnungsmethode, um optische Gestalten in der Luft mittels eines einzigen Spiegels hervorzubringen. Es sei **CD** die eine Wand eines Zimmers, oder ein Schirm, welche einen Theil des Gemaches von dem andern scheidet, und es befinde sich darin die Geviertеöffnung **EF**, deren Mittelpunkt etwa fünf Fuß hoch über dem Boden ist. Diese Öffnung mag mit einem schwarzen Rande, oder mit vergoldeten Leisten umgeben werden, um die Ähnlichkeit

eines Gemälderahmens hervorzubringen. Ein großer elliptischer Hohlspiegel **MN** werde dann in dem anstoßenden Gemache so aufgestellt, daß, wenn ein Gegenstand nach **A** dem einen Focus des Spiegels gebracht wird, ein deutliches Bild davon sich in dem andern Focus **B**, oder im Mittelpunkte der Öffnung **EF** gestalte. Dieses Bild wird bezüglich auf die Stellung des Gegenstandes umgekehrt sein; wenn daher eine kleine Statue, Büste oder Gypsabguß von einem Gegenstande bei **A** verkehrt hingestellt wird, so wird ein Beobachter im Gemache **O** ein aufrechtes Bild dieses Gegenstandes bei **B** sehen. Um dieser Darstellung desto mehr Wirkung zu geben, muß der Gegenstand weiß, oder wenigstens von sehr heller Farbe sein und durch eine mächtige Lampe stark beleuchtet werden, deren Strahlen man jedoch verhindern muß, die Öffnung **EF** zu erreichen. Da in dem vorliegenden Falle das Bild nicht in dem einzigen Focus eines sphärischen Hohlspiegels, sondern in einem der Focus eines elliptischen Hohlspiegels gebildet wird, so wird es nicht verworren oder verkleinert sein, sondern vielmehr größer als der Gegenstand erscheinen. Wenn das Bild, wie hier, in der Luft erscheint, so wird es deutlich nur von dem Punkte **O** zu sehen sein, und eine Person, die sich, nach was immer für einer Seite, in einer kleinen Entfernung davon befindet, wird nichts wahrnehmen. Wenn jedoch die Öffnung **EF** mit Rauch angefüllt wird, der sich von brennendem Weihrauch und andern Wohlgerüchen erhebt, so wird der wolkenähnliche Dampf als ein Schirm dienen, um dies zurückgeworfene Bild aufzufangen, welches dergestalt für alle im Gemache **O** sich befindliche Personen sichtbar sein wird.

Zu den Naturerscheinungen, welche durch Reflexion von concaven Oberflächen hervorgebracht werden, gehört das sogenannte „Brockengespenst,“ eine gigantische Figur, die man zuweilen in einiger Entfernung auf dem höchsten Gipfel des Harzes sieht. Es ist durch sorgfältige Betrachtung ermittelt worden, daß diese Gestalt das reflectirte

Bild des Beobachters ist, wie es mittels eines Hohlspiegels in gewissen Lagen hervorgebracht werden könnte. Einen merkwürdigen Fall der Reflexion hat ein neuer Reisender vom Berge Ätna in Sicilien angeführt. Er sagt: „Am äußersten Ende des ungeheuern Schattens, den der Ätna über die Insel wirft, erschien ein vollständiges und bestimmtes Bild des Berges selbst, über dem Horizonte erhaben und verkleinert, gleich als würde es in einem Hohlspiegel gesehen *).“

Man hat den Spiegeln mehre Formen außer den bereits beschriebenen gegeben, wodurch verschiedene Modificationen der reflectirten Bilder hervorgebracht werden können. Man verfertigt cylindrische, konische, pyramidalische und prismaförmige Spiegel, aber sie dienen nur zur Ergötzlichkeit wegen der seltsamen Wirkungen, die durch solche Instrumente hervorgebracht werden können. Eine gewöhnliche Methode, solche optische Phänomene zu zeigen, besteht in der Berichtigung verzerrter, zu diesem Zwecke eigends gezeichneter Figuren, mittels Reflexion von gewissen Spiegeln. Diese Darstellungen nennt man Anamorphosen **), und die Regeln, um solche Zerrfiguren zu zeichnen, damit sie zu den verschiedenen Arten von Spiegeln passen, sammt der Anleitung zu ihrer gehörigen Anordnung, kann man in mehren Werken, die auf Optik und optische Erscheinungen Bezug nehmen, finden ***).

---

*) Travels in Sicily, Greece and Albania. By the Rev. T. S. Hughes. 1830.

**) Von dem griechischen Vorworte ἀνὰ und μόρφωσις, eine Erscheinung, d. i. eine umgekehrte Darstellung.

***) S. Schotti Magia universalis p. 1. lib. 3. P. Dubreuil Perspective pratique, T. III. Trait. 5, 6, 7. und Wieglebs natürliche Magie.

Dioptrik.

Wenn Lichtstrahlen durch ein Medium von gleichförmiger Dichtigkeit bis zu was immer für einer Entfernung dringen, so werden sie in geraden Linien fortgepflanzt; wenn aber ein Strahl oder ein Strahlenbüschel von einem transparenten Medium in das andere übergeht, z. B. von der Luft in Wasser oder Glas, so wird seine Richtung von der Oberfläche des Mediums verändert, und er dann in eine Linie, welche mehr oder weniger von jener abweicht, die er in der Luft gehabt hat, sich fortpflanzen. Daher sagt man, daß ein Strahl gebrochen ist in Folge seines Übergangs von einem Medium in das andere; die dadurch hervorgebrachte Wirkung heißt Refraction des Lichtes oder Strahlenbrechung, und die Gesetze, nach welchen diese Erscheinungen vor sich gehen, bilden die Wissenschaft, oder jenen Zweig der Wissenschaft, welcher Dioptrik*) genannt wird.

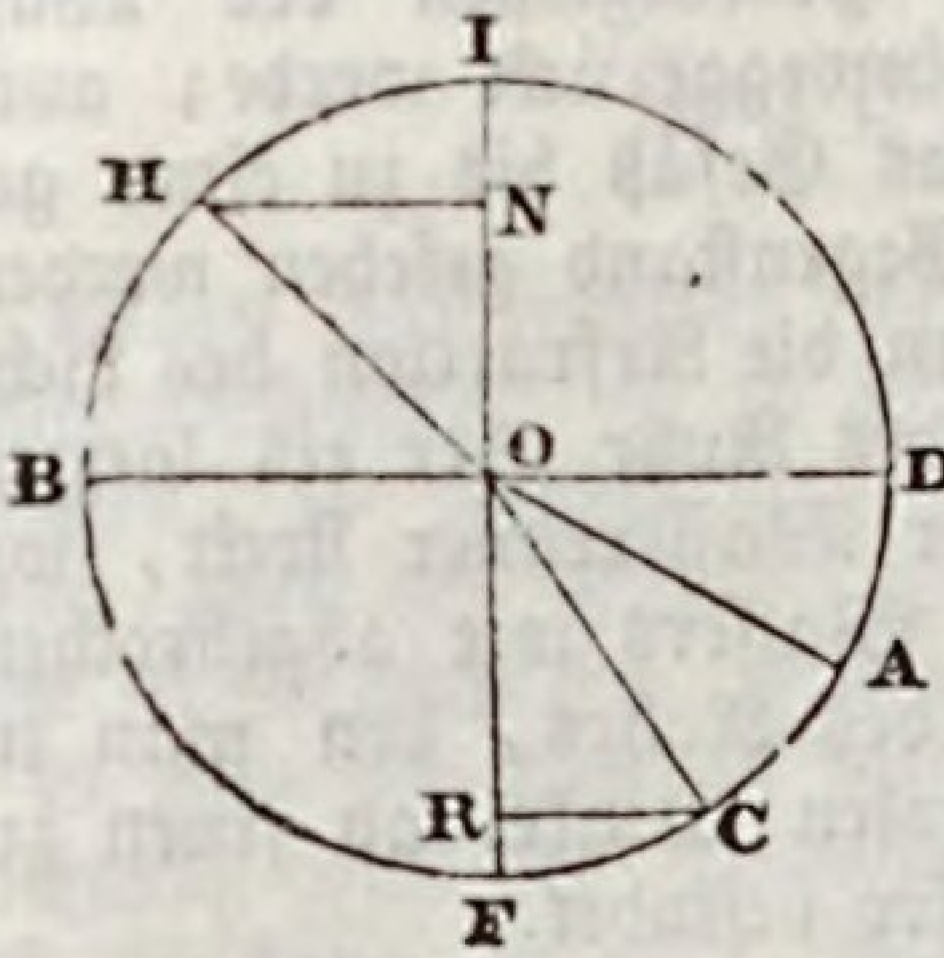
Die Wirkung, welche oben beschrieben worden, kann man leicht erproben, wenn man ein Geldstück fast zum Mittelpunkte des Bodens eines porzellainen Topfes legt, der auf einem Tische oder auf der Erde steht, und dann so weit zurücktritt, bis man das Geldstück nicht mehr sieht, weil es dem Auge durch die Wände des Topfes entzogen wird: läßt man nun Wasser in das Gefäß fließen, so wird das Geldstück sichtbar, gleich als wäre der Boden desselben über sein eigentliches Niveau erhoben worden. Es ist jedoch räthlich, das Geldstück oder jeden andern flachen Gegenstand, der zu diesem Zwecke eben so gut paßt, durch Wachs am Boden des Beckens zu befe-

*) Von dem griechischen Διόπτομαι, ich sehe durch, oder Διόπτρα, ein mathematisches Instrument, um die Höhen zu messen.

stigen, damit er durch das Hineingießen des Wassers nicht von seinem Platze hinweggerückt werde; auch ist es nothwendig, daß man das Gefäß bis zu einer gewissen Höhe fülle, bevor der Gegenstand gesehen werden kann. Noch einfacher kann man die Refraction des Lichtes zeigen, wenn man ein gerades Rohr oder ein langes Lineal schief in einen Teich oder Wassereimer steckt, wo es dann an der Oberfläche des Wassers wie abgebrochen aussehen wird, da der Theil des Rohrs, den man in der Hand hält, in einem stumpfen Winkel an jenen zu stoßen scheint, der sich im Wasser befindet.

Es gibt jedoch einen Fall, in welchem Lichtstrahlen bei ihrem Übergang aus einem Medium (Mittel) in ein anderes von verschiedener Dichtigkeit, sich ohne Veränderung ihrer Richtung fortpflanzen und zwar, wenn ihre Richtung zu der aneinander stoßenden Oberfläche der beiden Mittel perpendiculär ist. Wenn daher das Auge sich senkrecht über dem in einem Becken liegenden Geldstück befindet, so wird letzteres in derselben lothrechten Linie gesehen werden, das Becken sei leer oder mit Wasser gefüllt; aus demselben Grunde wird ein gerader Stock, der senkrecht in das Wasser gehalten wird, die gekrümmte Gestalt nicht annehmen, welche man bemerkt, wenn er schief in dasselbe getaucht wird.

Wenn wir von dem Punkte, wo ein Lichtstrahl von einem Medium durch die Oberfläche eines andern Mediums geht, uns eine Linie denken, welche perpendiculär auf dieser Oberfläche gezogen und jenseit derselben unbestimmt verlängert wird, so wird der Strahl nach der Brechung sich dieser senkrechten Linie entweder mehr nähern, als vor der Brechung, oder sich von derselben weiter entfernen als vorher. Wenn das Medium, in welches der Strahl eintritt, dichter ist als das Medium, welches er verläßt, so wird er sich der Senkrechten nahen; wenn aber das zweite Medium dünner ist, als das erste, so wird die entgegengesetzte Wirkung stattfinden und der Strahl von der Senkrechten zurückweichen.



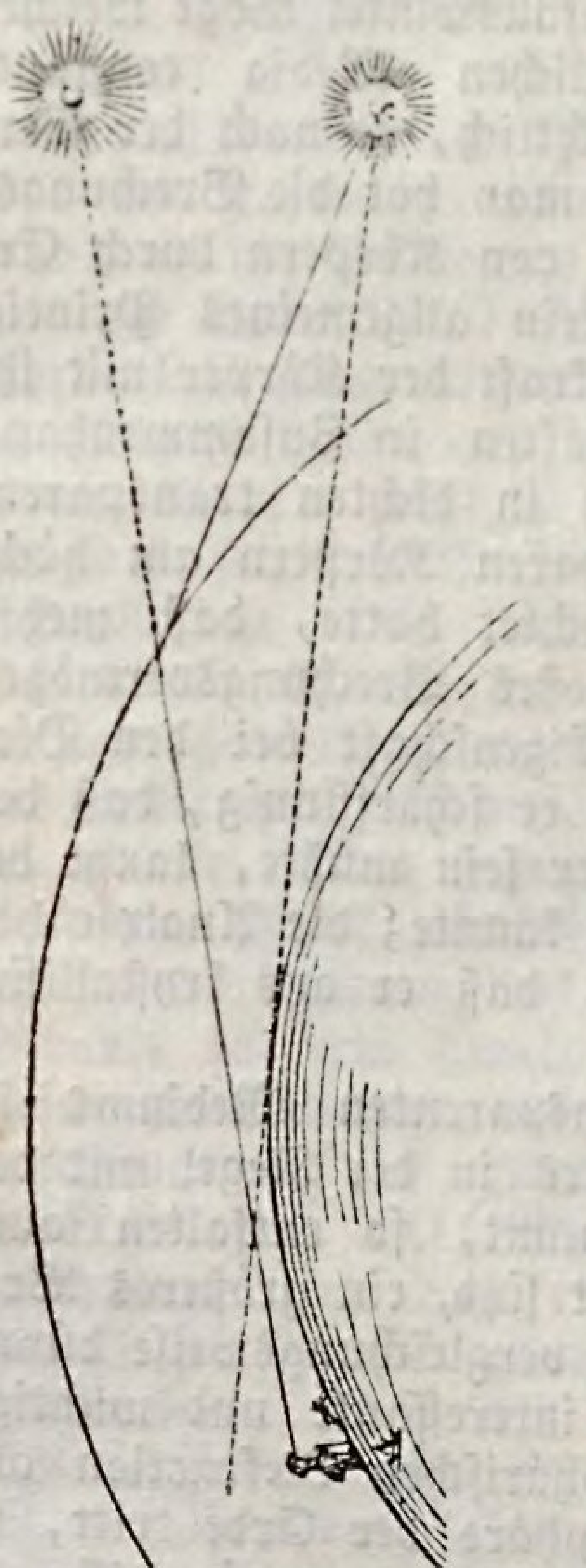
Diese Wirkungen lassen sich durch die Randfigur erläutern. Es sei O der Punkt, an welchem der Lichtstrahl von einem Medium in das andere übergeht und beide Mittel seien durch die Linie BD getrennt, welche entweder eine ebene, eine concave oder eine convexe Oberfläche darstellt; das Medium über BD sei dichter als das unter BD; HO sei der einfallende und OC der gebrochene Strahl und man ziehe durch den Punkt O die Senkrechte IF auf die Ebene BD. Wenn nun der Strahl HO nach seinem Durchgange durch die Ebene BD seine Richtung beibehalten hätte, so müßten die Winkel HOI und FOC einander gleich sein; der letztere ist aber spitziger als jener, weil die Brechungslinie OC sich der Senkrechten IF mehr nähert als der Einfallslinie HO. Wenn dagegen das Medium unter BD dichter ist als jenes über BD, so wird der Strahl weniger gebrochen werden als früher, folglich weiter von der Senkrechten IF abstehen als der Strahl HO, mithin der Winkel FOA stumpfer sein als der Winkel HOI. Von dem Punkte O beschreibe man den Kreis IDFB, welcher die Richtung des einfallenden und des gebrochenen Strahls bei dem Punkte H und C durchschneidet; von diesen Punkten ziehe man die Linien HN und CR perpendikulär auf IF, welche Linien die Sinusse der Winkel HOI und FOC sein werden. Aus zahlreichen Beobachtungen hat man ermittelt, daß stets dasselbe Verhältniß sei, der Einfallswinkel des Strahls möge welcher immer sein, wenn nur das Medium, durch welches er geht, dasselbe bleibt; denn obschon es kein festes Verhältniß zwischen dem Einfalls- und Brechungswinkel gibt, besteht doch ein beständiges (constantes) Verhältniß zwischen den Sinussen dieser Winkel. HN heißt der Sinus

des Einfallswinkels **CR** der Sinus des Brechungswinkels.

Wenn ein Strahl aus der Luft in Glas übergeht, verhält sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechwinkels, wie 3 zu 2, wenn von Luft im Wasser wie 4 zu 3; aber diese Verhältnisse drehen sich um, wenn ein Strahl von Glas oder Wasser in die Luft übergeht, denn in dem ersten Falle werden sich die beiden Sinusse verhalten wie 2 zu 3, im zweiten, wie 3 zu 4. Diese Verhältnisse sind, der Einfallswinkel möge welcher immer sein, für die bezüglichen Media constant. Aber sie unterscheiden sich beträchtlich, je nach der Verschiedenheit der Substanzen, und man hat die Brechungsverhältnisse einer großen Anzahl von Körpern durch Erfahrung bestimmt. Man hat kein allgemeines Princip entdeckt, welches die Brechungskraft der Körper mit ihren übrigen physischen Eigenschaften in Zusammenhang brächte, obschon sie gewöhnlich in dichten transparenten Substanzen und in brennbaren Körpern am höchsten ist. Weil Newton beobachtet hatte, daß mehre brennbare Körper ein sehr großes Brechungsvermögen besäßen, und er eine ähnliche Eigenschaft bei den Diamanten entdeckte, so vermuthete er scharfsinnig, daß der Diamant ein brennbarer Körper sein müßte, lange bevor man seine Zusammensetzung kannte; die Analyse hat diese Idee bestätigt und gezeigt, daß er aus krystallisirtem Kohlenstoff bestehe.

Da die Wirkung jedes transparenten Mediums in Bezug auf Refraction des Lichtes in der Regel mit der Zunahme der Dichtigkeit zunimmt, so entfalten auch Luft und Dünste, wenn sie dicht sind, ein größeres Brechungsvermögen, als wenn sie vergleichungsweise dünne sind; es hängen daher einige interessante und wichtige Erscheinungen von der atmosphärischen Refraction ab. Wenn das Licht in die Atmosphäre der Erde tritt, so kömmt es in ein Medium, welches weniger dünn ist, als der ätherische Raum jenseit derselben, und da der un-

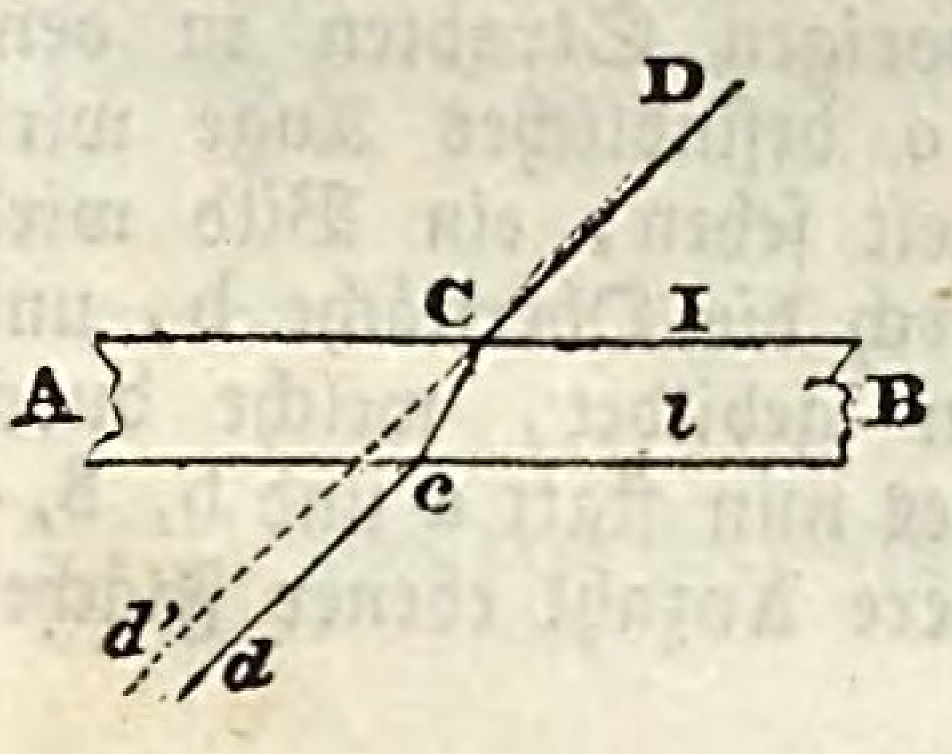
tere Theil der Atmosphäre verhältnißmäßig der dichteste ist, so müssen die Strahlen, welche durch die Luft von Gegenständen kommen, die sich weit über uns befinden, beträchtlich gebrochen werden. Aus dieser Ursache sieht man die Sonne und die übrigen Himmelskörper nie in ihrer wahren Lage, außer wenn dieselbe zufällig vertikal sind; je näher sie sich dem Horizonte befinden, desto größer wird der Einfluß der Brechung auf die Veränderung des scheinbaren Platzes eines dieser Himmelskörper sein.



So wird ein Mensch, der sich, wie in nebenstehender Figur bei A befindet, die Sonne bei C aufgehen sehen, während ihre wahre Lage S ist, und so wird ihr scheinbarer Platz sich bezüglich vermindern, bis sie im Zenith des Punktes A, d. i. scheitelrecht über demselben anlangt; letzteres kann jedoch nur der Fall unter dem Äquator, oder wenigstens in den heißen Zonen sein. In Folge dieser atmosphärischen Refraction bescheint uns das Licht der Sonne des Morgens frühe und des Abends länger als es andernfalls geschehen würde. Und wenn die Sonne wirklich unter den Horizont gesunken ist, werden jene Strahlen, die sonst durch den unendlichen Raum sich zerstreuen müßten, von der Atmosphäre in der Neigung nach der Oberfläche der Erde gebrochen und veranlassen Dämmerung; je größer die Dichtigkeit der Atmosphäre ist, desto größer ist auch ihr Refractionsvermögen, mithin auch

die Dauer des Zwielichtes desto länger. In kalten Klimaten, oder in der Nähe des Poles, wo das Jahr von der Natur in die Jahreszeiten des Lichtes und der Finsterniß getheilt ist, wovon jede sechs Monate dauert, vermindert das Zwielicht der Atmosphäre um den Pol die Winternacht dieser düstern Gegenden um eine Zeit, die mehren Tagen gleichkömmt. So werden auch Gegenstände auf der Erde, die man aus einer großen Entfernung sieht, durch die atmosphärische Refraction afficirt; sie scheinen daher höher und dem Beobachter näher, als der Fall wäre, wenn sie durch ein Medium von gleichförmiger Dichtigkeit gesehen würden.

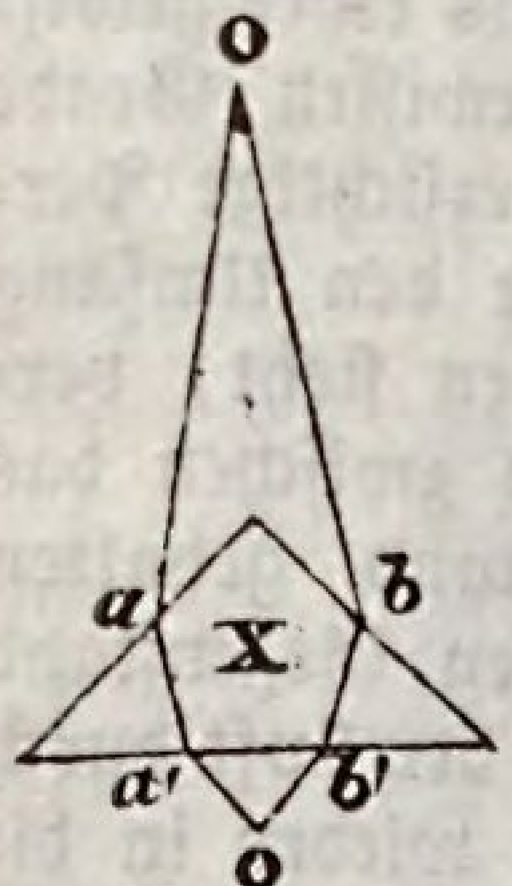
Die optischen, von der Refraction abhängenden Erscheinungen, womit wir am meisten vertraut sind, sind diejenigen, welche durch den Durchgang der Lichtstrahlen von einem Medium, wie Luft oder Wasser, in ein anderes, mehr oder weniger dichtes und durch ihren Wiedereintritt in das vorige Medium bewirkt werden, nachdem sie das mehr oder minder brechende Mittel durchzogen haben. So werden Gegenstände, die man durch gewöhnliche Lesebrillen sieht, wenn man sie aus einer gewissen Entfernung besieht, auch in einem gewissen Grade vergrößert; und die Gläser, deren sich kurzsichtige Personen bedienen, haben die Wirkung, daß sie den Umfang der Gegenstände, welche man durch dieselben sieht, verkleinern. Wenn eine durchsichtige Substanz zwischen das Auge und was immer für einen Gegenstand gehalten wird, so werden die Strahlen, welche diesen Gegenstand sichtbar machen, in ihrem Durchgange von der Luft durch die transparente Substanz und von dieser wieder in die Luft gebrochen, bevor sie das Auge erreichen, und die hervorgebrachte Wirkung wird von dem Brechungsvermögen dieser Substanz und der Gestalt ihrer Oberflächen abhängen.



Der einfachste Fall dieser Art ist, wenn die dichtere oder

stärker refrangirende Substanz durch zwei ebene Flächen, die einander parallel sind, begrenzt wird. Es sei A B ein Stück polirtes Glas, welches durch die parallen Flächen I, i begrenzt wird und auf welches der Strahl D C schief auffällt; bei dem Punkte C wird er, wenn er in das Glas tritt, in der zur Ebene des Glases fast perpendiculären Linie C c gebrochen werden; wenn er aber bei c wieder aus dem Glase tritt, wird er abermals in der entgegengesetzten Richtung gebrochen, und in der Linie c d, welche der Linie D C d′ parallel ist, fortlaufen. Da mithin die Strahlen, nachdem sie durch Glasplatten oder andere durchsichtige Gegenstände mit parallelen Oberflächen gebrochen worden sind, wieder ihre frühere Richtung erhalten, so ist die Wirkung nicht wahrnehmbar; daher erleiden die Gestalten und scheinbaren Plätze der Gegenstände, welche durch Scheiben von Fensterglas gesehen werden, keine Veränderung.

Wenn jedoch die ebenen Flächen transparenter Gegenstände einander nicht parallel sind, so werden verschiedene Wirkungen hervorgebracht werden. Es sei X der Abschnitt eines Mediums, welches dichter, als das dasselbe umgebende Mittel, und von schiefen Flächen eingeschlossen ist, durch welches Lichtstrahlen vom Punkte O gehen. Dann wird der Strahl O b in der Richtung b b′ gebrochen, und nach dem Heraustreten in der Richtung b′ o fortlaufen; desgleichen wird ein anderer Lichtstrahl O a von demselben leuchtenden Punkte O auf dieselbe Weise von a nach a′ refrangirt und den vorigen Strahlen in dem Punkte o begegnen. Ein zu o befindliches Auge wird den leuchtenden Punkt O doppelt sehen; ein Bild wird durch die Strahlen, welche durch die Oberfläche b, und das zweite durch die Strahlen gebildet, welche durch die Oberfläche a gehen. Wenn es nun statt a und b, 3, 4 oder was immer für eine größere Anzahl ebener Flächen

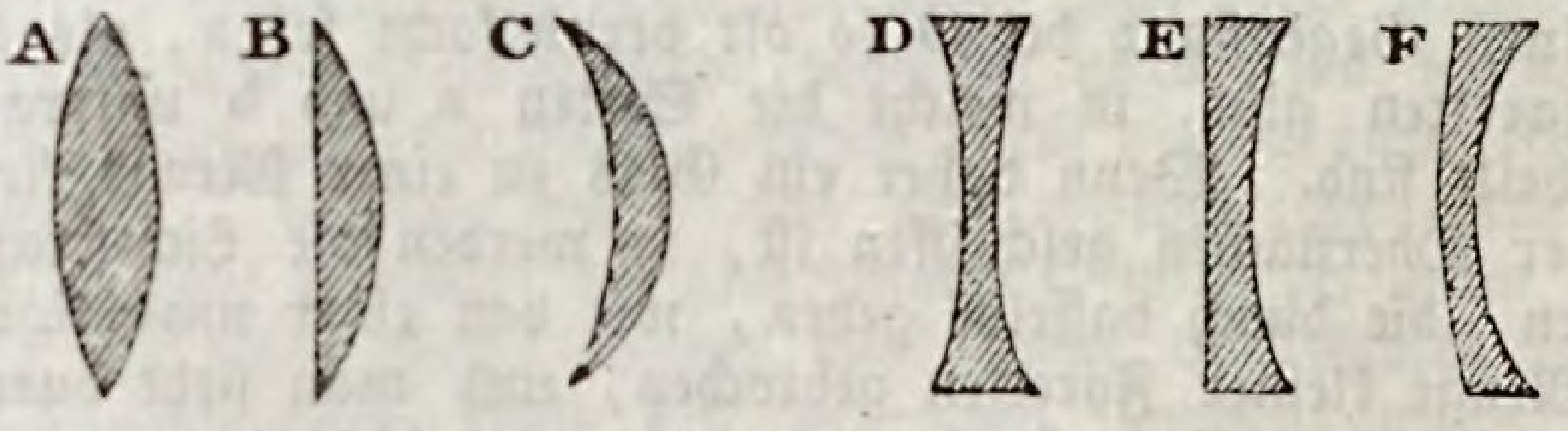


gäbe, so würde das Auge bei o ein Licht oder was immer für einen Gegenstand bei O so oft vervielfacht sehen, als es Facetten gibt, in welche die Seiten a und b untergethellt sind. Wenn daher ein Glas zu einer Menge kleiner Oberflächen geschliffen ist, so werden die Lichtstrahlen, die durch dasselbe gehen, wie von einer unzähligen Menge kleiner Facetten gebrochen, und man sieht durch dasselbe den Gegenstand ganz und gar nicht, denn wenn die Bilder desselben in ihren eigenthümlichen Richtungen formirt würden, wären sie zu klein, um wahrgenommen werden zu können. Solches Glas, welches einen durchscheinenden Schirm bildet, wird häufig zu Fenstern in Canzeleien und Comptoiren gebraucht, weil das hindurchdringende Licht allgemein verbreitet wird und die Schatten sehr schwach sind; und aus denselben Gründen werden zirkelrunde Schirme von geschliffenem Glase zu Lampen angepaßt, welche Sinumbrallampen *) oder schattenlose Lampen heißen.

Glas und durchsichtige Krystalle, aber hauptsächlich jenes, sind die Substanzen, welche gewöhnlich zur Verfertigung von optischen Instrumenten genommen werden, um die Erscheinungen darzustellen, welche von der Refraction des Lichtes abhängen; und nachdem wir die Wirkungen beschrieben haben, welche von transparenten Körpern mit ebenen Flächen hervorgebracht werden, gehen wir zu den Eigenschaften der Gläser mit krummen Oberflächen über. Es gibt zahlreiche Abarten solcher Gläser, gewöhnlich optische Linsen genannt; alle lassen sich jedoch in zwei Classen eintheilen: 1) Convexe Linsen, welche im Mittelpunkte dicker sind als an ihren Rändern; 2) concave Linsen, oder Gläser, welche am dünnsten in ihrem Mittelpunkte sind.

---

*) Von dem Lateinischen sine, ohne und umbra, Schatten.



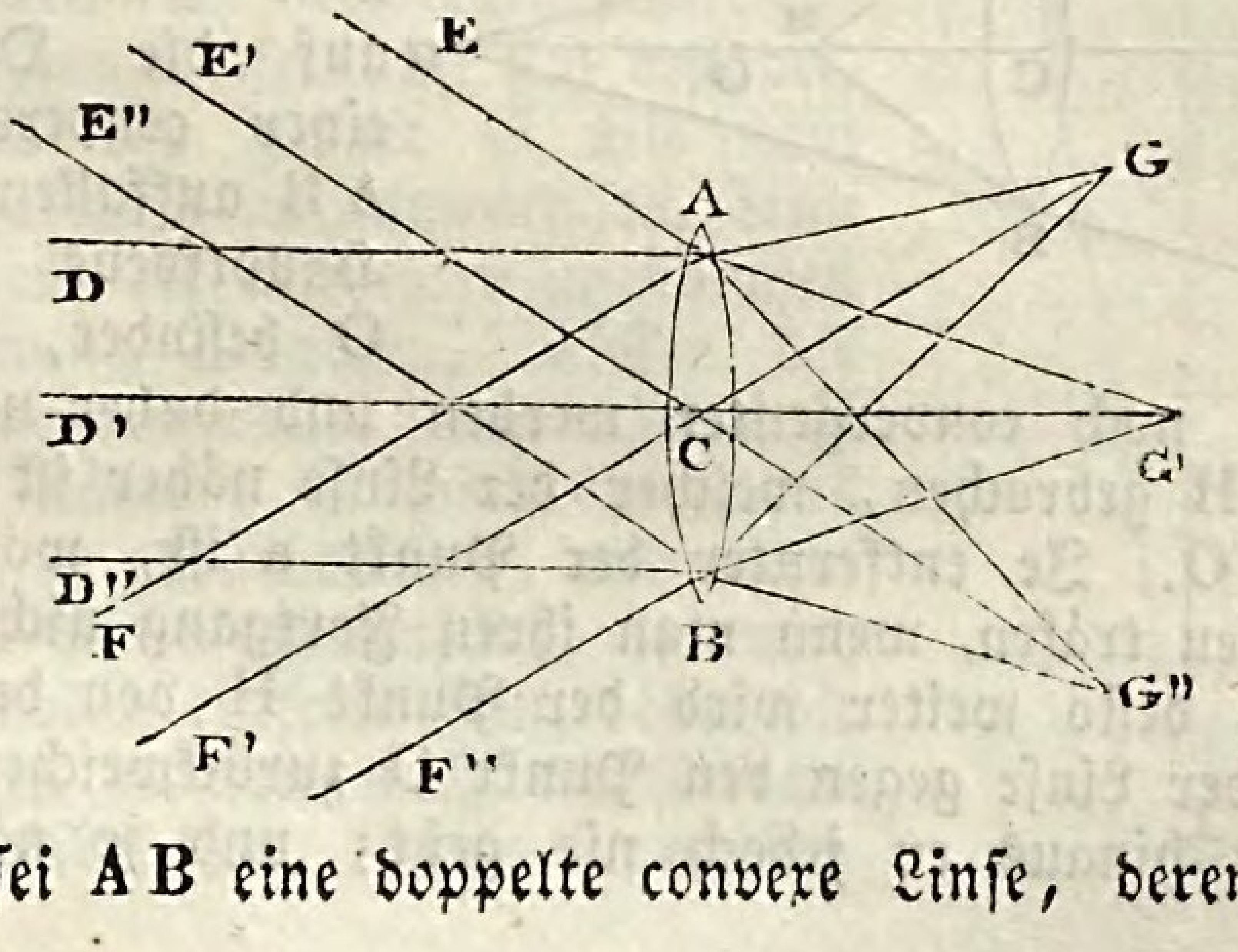
Unter den convexen Linsen gibt es die doppelte Convexe, A, welcher die Benennung Linse (lens), wegen ihrer ähnlichen Gestalt mit dieser Hülsenfrucht ursprünglich beigelegt wurde, und die durch zwei convexe sphärische Flächen begrenzt ist, deren Mittelpunkte sich an den entgegengesetzten Seiten der Linse befinden; die plan-convexe, B, deren eine Seite durch eine ebene, die andere durch eine convexe Fläche begrenzt ist; der Meniscus, oder die concav-convexe Linse, welche auf der einen Seite durch eine concave, auf der andern durch eine convexe Oberfläche begrenzt ist, wovon jene ein Abschnitt eines größern Cirkels ist als diese, mithin die Oberflächen sich begegnen, wenn sie verlängert werden.

Es gibt auch drei Hauptarten der concaven Linsen, als: Die doppelte concave, D, welche von zwei concaven Oberflächen begrenzt ist, die Theile von Sphären bilden, deren Mittelpunkte sich auf der gegenüberstehenden Seite der Linse befinden; die plan-convexe Linse, welche auf einer Seite durch eine ebene, auf der andern durch eine concave Oberfläche begrenzt ist; und die convex-concave, welche auf der einen Seite durch eine convexe, auf der andern durch eine concave Oberfläche begrenzt ist, aber diese Oberflächen treffen nicht zusammen, wenn sie verlängert werden.

Die Arten beider Classen von Linsen lassen zahlreiche Modificationen zu, welche von der relativen Krümmung ihrer verschiedenen Oberflächen abhängen. Der Radius einer Linse wird der Radius der Sphäre sein, wovon ihre Oberflächen einen Theil bilden, wenn diese Oberflächen dieselbe Krümmung haben; andernfalls hat jede

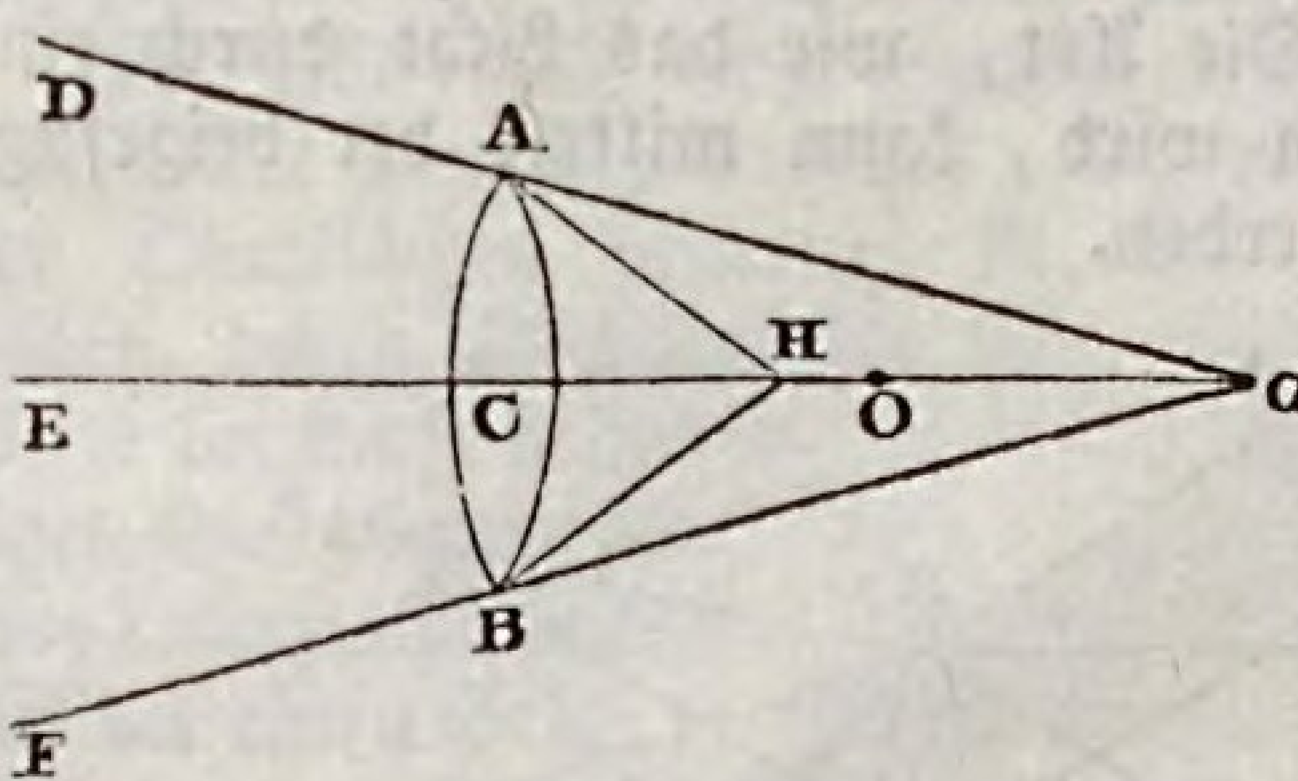
Seite einen verschiedenen Radius. In allen den verschiedenen Arten von Linsen muß daher ein Punkt sein, wo die entgegengesetzten Oberflächen parallel sind; dieser Punkt heißt der optische Mittelpunkt der Linse und die Linie, welche von ihm senkrecht zur Oberfläche geht, wird ihre Achse sein. Auf diesen Linien werden die geometrischen Mittelpunkte der zwei Oberflächen der Linse liegen, oder vielmehr der Sphären, wovon jene einen Theil bilden. Man sagt, daß eine Linse einen wahren oder genauen Mittelpunkt hat, wenn ihr optisches Centrum sich an einem Punkte der Achse befindet, welcher von den correspondirenden Theilen der Oberfläche in jeder Richtung gleich weit entfernt ist, weil dann die durch die Linse gesehenen Gegenstände in ihrer Lage nicht verändert scheinen werden, wenn sie perpendiculär zu ihrer Achse umgedreht wird.

Die allgemeine Wirkung dieser Gläser, die man convexe Linsen nennt, das ist solche, die im Mittelpunkte am dicksten sind, besteht darin, daß sie die Strahlen, welche durch sie gehen, mehr convergirend machen; wogegen die concaven Linsen eine größere Divergenz der Strahlen bewirken. Die Art, wie das Licht durch eine convexe Linse gebrochen wird, kann mittels der beigefügten Figur erläutert werden.



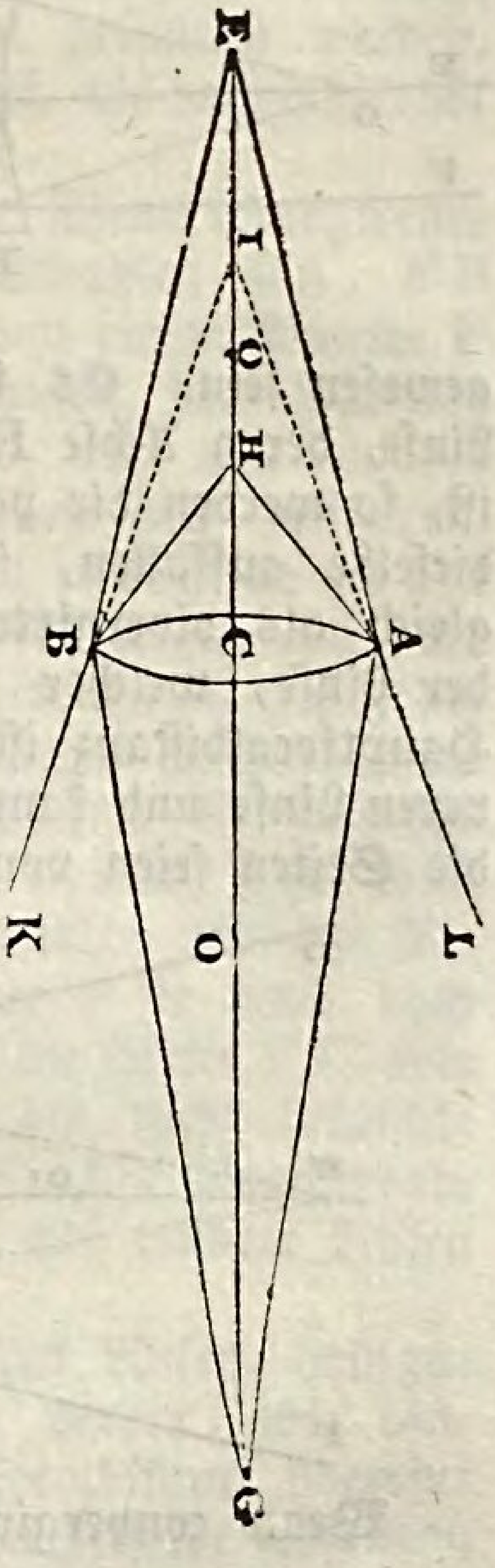
Es sei AB eine doppelte convexe Linse, deren Achse

D'CG' und ihr optisches Centrum C ist; dann werden die parallelen Strahlen DA, D''B durch die beiden Oberflächen so gebrochen werden, daß sie bei G' zusammentreffen, und dieser Punkt heißt der Hauptfocus der Linse. Desgleichen werden die parallelen Strahlen EA, E'A und E''A, sowie FA, F'C und F''B, die auf die Linse schief auffallen, auf ähnliche Weise gebrochen und haben ihre Foci bei G und G'' in derselben Entfernung hinter der Linse. Die Strahlen E'CG'', D'CG', F'CG, welche durch den Mittelpunkt der Linse gehen, ändern ihre Richtung nicht. CG' heißt die Focaldistanz oder Brennweite der Linse, und in einer doppel-convexen Linse, welche von gleichen sphärischen Oberflächen gebildet ist, wird ihre Länge jener des Radius der Sphäre gleich sein, wovon diese Oberflächen Theile bilden. In einer planconvexen Linse ist die Focaldistanz dem doppelten Radius ihrer convexen Oberfläche gleich. Wenn die Linse zwei ungleich convexe Seiten hat, kann man die Focaldistanz finden, indem man die Radien ihrer beiden Oberflächen multiplicirt und das Product durch die Summe der beiden Radien theilt; der Quotient wird die gesuchte Brennweite sein.



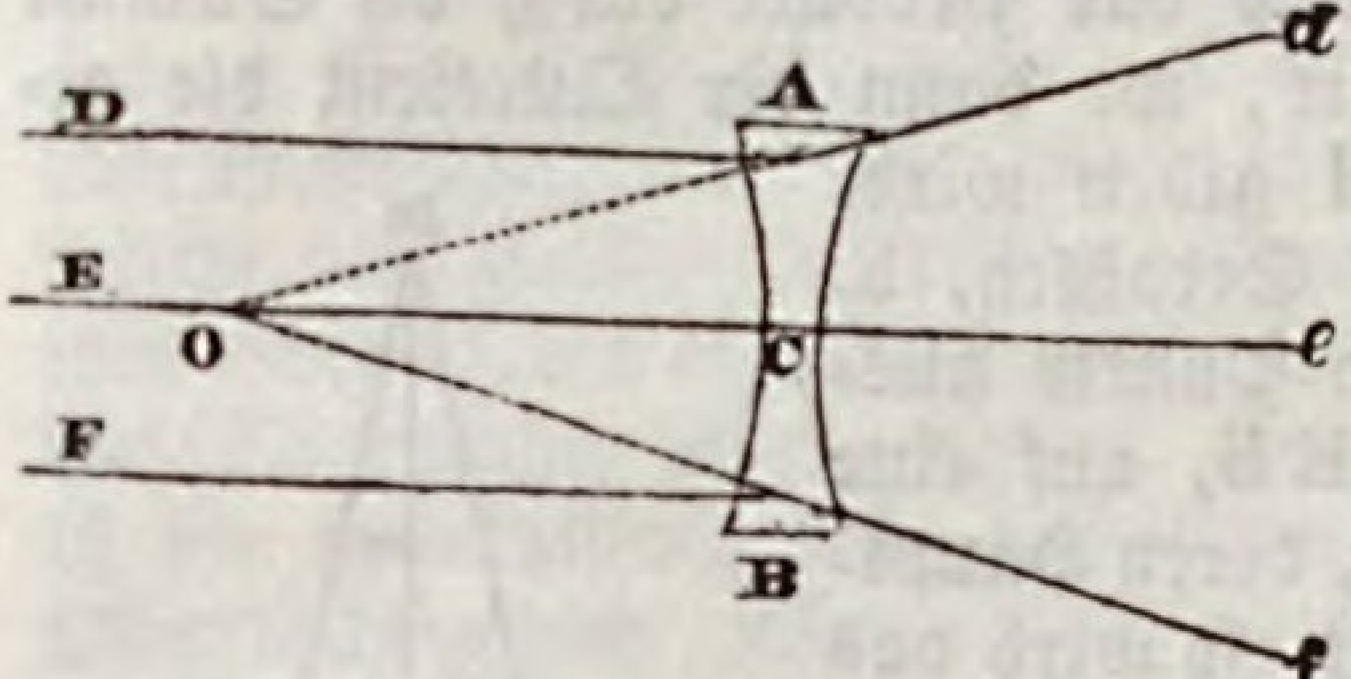
Wenn convergirende Strahlen, das ist solche, die nach einem Punkte zielen, auf die Oberfläche einer convexen Linse AB auffallen, deren Hauptfocus sich zu O befindet, so werden sie noch convergenter werden und daher nach dem Focus H gebrochen, welcher der Linse näher ist als der Punkt O. Je entfernter der Punkt a ist, wo sich die Strahlen träfen, wenn man ihren Fortgang nicht unterbräche, desto weiter wird der Punkt H von der Oberfläche der Linse gegen den Punkt O zurückweichen, über welchen hinaus er jedoch nie geht; und je näher der

Punkt a an der Linse ist, desto mehr wird sich ihr auch der Punkt H nähern. Die Punkte G und H heißen Nebenfoci, weil der Platz des einen von dem Platze des andern abhängt und obgleich jede Linse nur einen Hauptfocus hat, kann sie doch eine unzählige Menge von Nebenfoci haben, weil convergirende Strahlen in unzähligen Winkeln auf sie einfallen können. Die Nebenfocaldistanz CH kann man finden, wenn man die Weite des Hauptfocus OC mit aC, der Entfernung des Convergenzpunktes, multiplicirt, und das Produkt durch die Summe derselben Zahlen dividirt, wo dann der Quotient die gesuchte Entfernung CH geben wird.

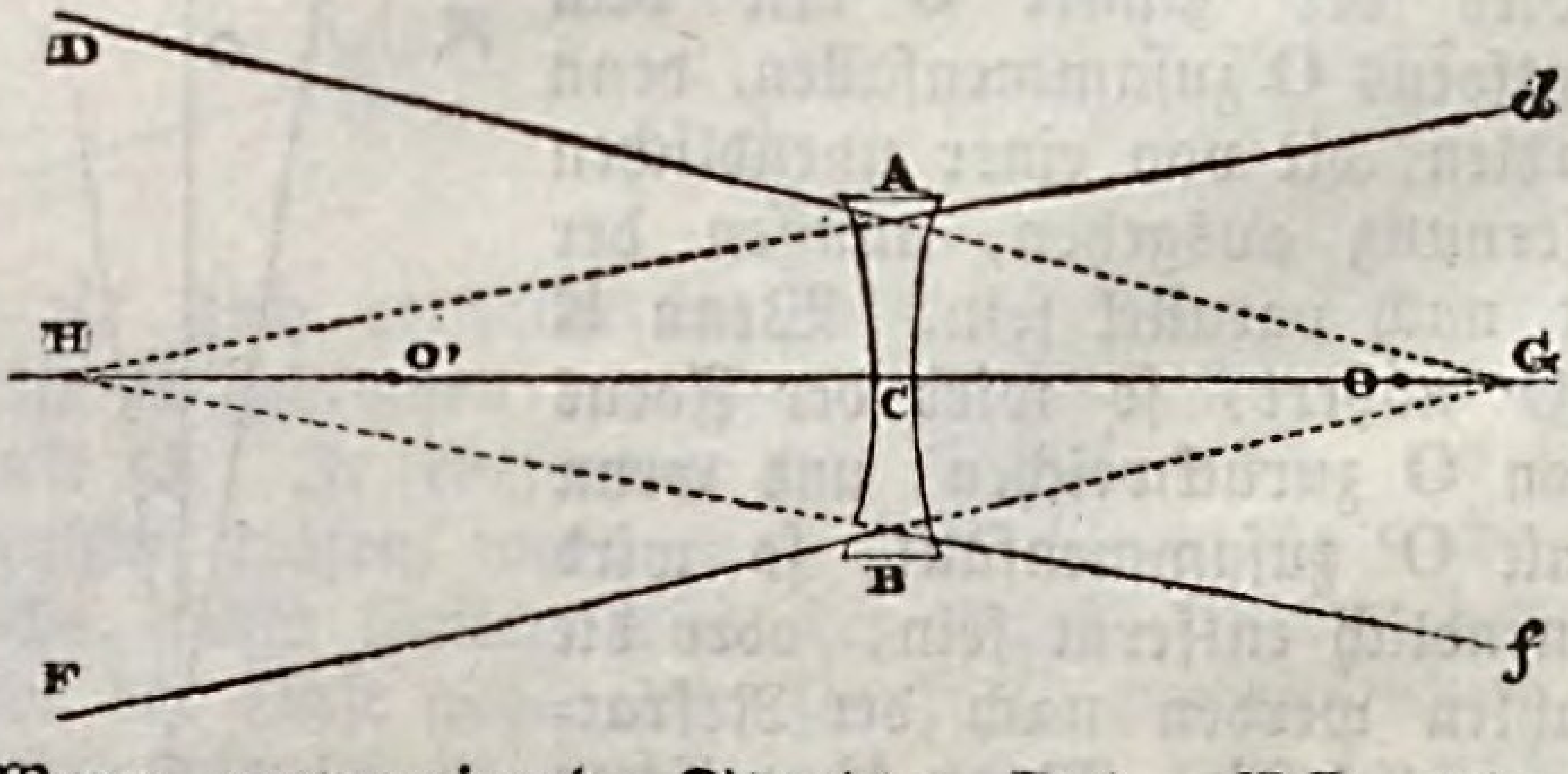


Wenn divergirende Strahlen, d. i. solche, die von einem Punkte auslaufen, wie EA und EB, auf eine convexe Linse AB fallen, deren Hauptfocus sich zu O befindet, so wird das Brechungsvermögen der Linse bewirken, daß die Linien im Focus G jenseit O convergiren. Je weiter der Punkt, von welchem aus die Strahlen auseinander laufen, von der Linse sich entfernt, desto mehr wird der Focus G sich ihr nähern, und wenn der Divergenzpunkt in unendlicher Entfernung sich befindet, so wird der Punkt G mit dem Hauptfocus O zusammenfallen, denn Strahlen, die von einer unendlichen Entfernung ausgehen, müssen der That nach parallel sein. Wenn E sich O′ nähert, so wird der Focus G von O zurückweichen, und wenn E mit O′ zusammenfällt, so wird G unendlich entfernt sein, oder die Strahlen werden nach der Refraction parallel sein. Wenn F zwischen

O′ und C sich befindet, z. B. zu H, so werden die gebrochenen Strahlen divergiren wie AL, BK, gleich als kämen sie von einem Focus I jenseit O′ und vor der Linse. Die Punkte E und G heißen Nebenfoci und die Nebenfocalweite kann gefunden werden, wenn man die Hauptfocalweite mit EC, der Entfernung des Divergenzpunktes von der Linse, multiplicirt und das Produkt durch den Unterschied dieser Zahlen dividirt, von dem der Quotient die gesuchte Distanz CG geben wird.

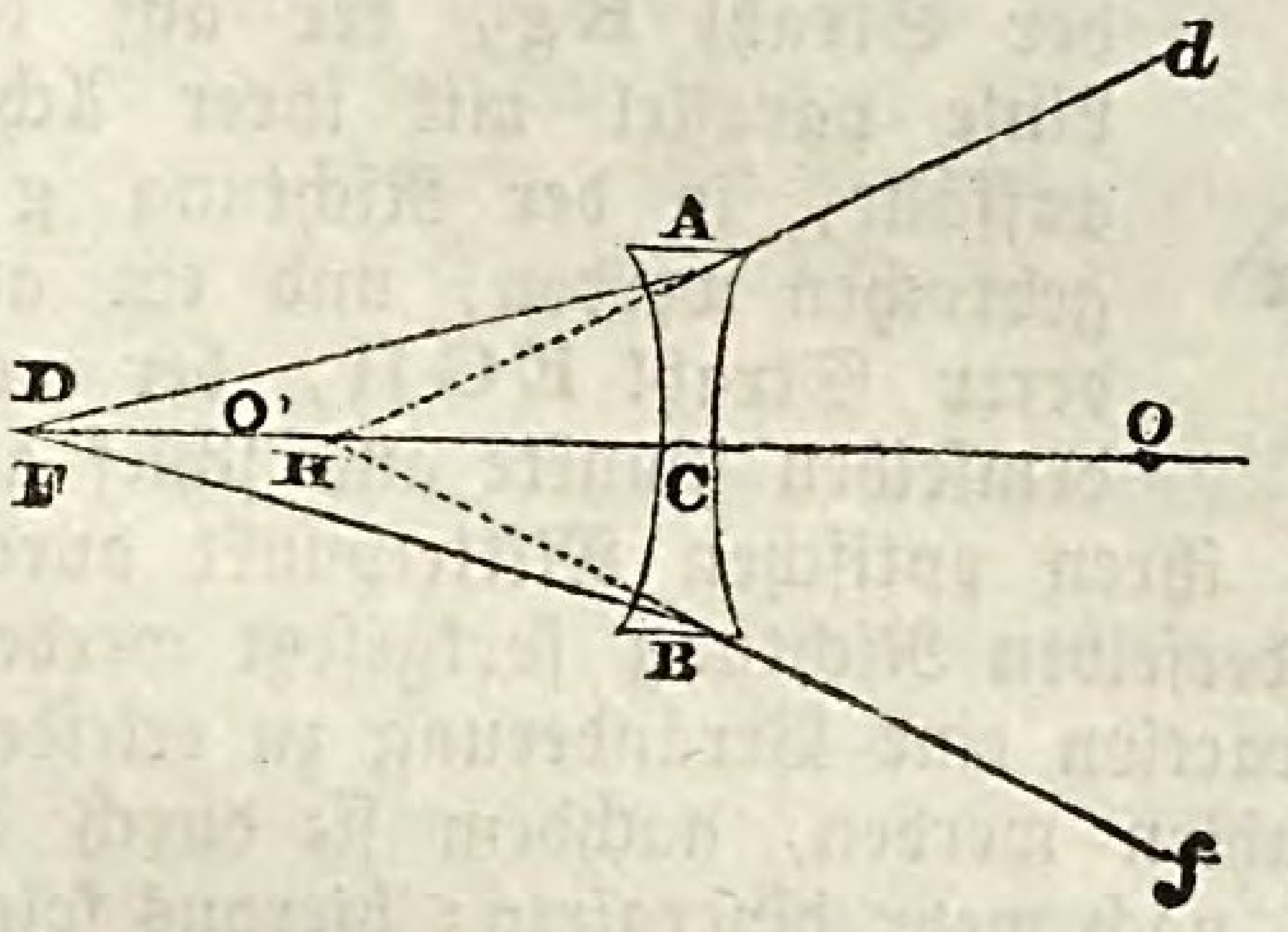


Lichtstrahlen, welche durch concave Linsen gehen, werden in den meisten Fällen durch die Refraction divergenter, ihre frühere Richtung möge was immer für eine gewesen sein. Es sei AB eine Doppel- oder biconcave Linse, deren Achse ECe, und ihr optisches Centrum C ist, so werden die parallelen Strahlen DA, FB, die auf dieselbe auffallen, in die Linien Ad und Bf divergiren, gleich als divergirten sie von einem Punkte O aus vor der Linse, welcher Punkt O ihr Hauptfocus ist. Die Hauptfocaldistanz ist bezüglich dieselbe wie die einer convexen Linse und kann auf die gleiche Art ermittelt werden, die Seiten seien von gleicher oder ungleicher Krümmung.



Wenn convergirende Strahlen DA, FB, die nach

einem Punkte G, jenseit des Hauptfocus O einer concaven Linse zusammenlaufen, auf dieselbe fallen, so werden sie in die divergirenden Linien Ad und Bf gebrochen, gleich als liefen sie von einem Focus H vor der Linse jenseit O′ aus. Wenn G, der Convergenzpunkt, mit O zusammenfällt, so werden die Strahlen nach der Brechung parallel sein, und wenn der Punkt G diesseit des Punktes O fällt, so werden die gebrochenen Strahlen zu einem Focus auf derselben Seite der Linse wie G, aber jenseit O convergiren. G und H heißen Nebenfoci und die Lage eines von ihnen, wenn die des andern bekannt ist, kann durch die Wurzel gefunden werden, welche für den Fall gegeben worden ist, als convergirende Strahlen auf convexe Linsen auffallen.

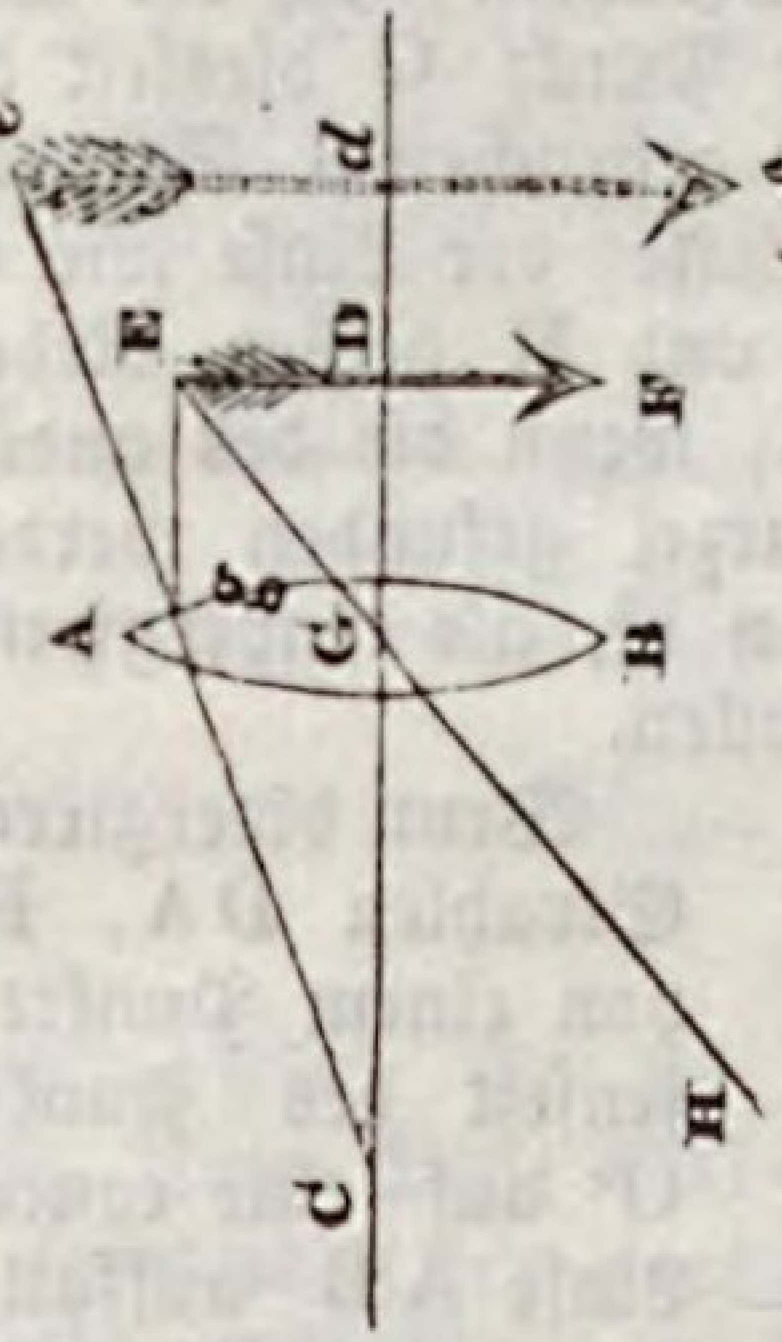


Wenn divergirende Strahlen DA, FB von einem Punkte F jenseit des Punktes O′ auf eine concave Linse AB auffallen, so werden sie in den Richtungen Ad, Bf divergiren, gleich als kämen sie vor einem Punkte H zwischen O′ und C; und wenn F gegen C vorrückt, so wird es auch H, das ist: je mehr die Strahlen von der Refraction divergirten, desto mehr werden sie auch nach derselben auseinander laufen. Wenn die Weite FC oder die Weite HC gegeben ist, so kann die nicht bekannte durch die Regel gefunden werden, die für divergirende Strahlen gegeben worden ist, welche auf convexe Linsen auffallen.

Die Menisken, oder concav-convexen Linsen, bringen auf die Lichtstrahlen dieselbe Wirkung hervor, wie convexe Linsen, die mit ihnen in der Focaldistanz übereinkommen. Convex-concave Linsen haben dieselbe Wirkung

wie concave Linsen, die ihnen in der Focaldistanz gleichkommen.

Die Art, wie Bilder mittels optischer Linsen formirt werden, läßt sich leicht aus den vorhergehenden Figuren und Beschreibungen einsehen, und die Wirkung der convexen Gläser, die Bilder der Gegenstände zu rechtfertigen, wird durch nebenstehende Figur erläutert.



Es sei A B eine convexe Linse, C d deren optische Achse und EF irgend ein Gegenstand, der sich zwischen dem Hauptfocus und der Oberfläche der Linse befindet. Dann wird der Strahl E g, der auf die Linse parallel mit ihrer Achse auffällt, in der Richtung g C gebrochen werden, und ein anderer Strahl E G H, der von demselben Punkte aus schief auf die Linse fällt und ihren optischen Mittelpunkt durchschneidet, wird in derselben Richtung fortgesetzt werden, ohne durch die Refraction eine Veränderung zu erleiden, und die beiden Strahlen werden, nachdem sie durch die Linse gegangen sind, noch mehr divergiren; hieraus folgt, daß, wenn der Strahl E G H jenseit E verlängert wird, er die Linie g e in dem Punkte e durchschneiden würde, und ein Auge, das sich hinter der Linse befindet, wird den äußersten Punkt E des Gegenstandes bei e sehen; und da die Strahlen, die von jedem andern Punkte des Gegenstandes auffallen, auf eine entsprechende Weise gebrochen werden, so wird das Bild des Gegenstandes E F in e f erscheinen, mithin größer sein als der Gegenstand selbst.

Wenn sich jedoch der Gegenstand im Focus der Linse befindet, so wird das Auge, da die gebrochenen Strahlen hauptsächlich solche sind, welche ihrer Achse vor der

Brechung parallel waren, kein deutliches Bild von dem Gegenstande wahrnehmen. Gesetzt der Gegenstand **E F** befinde sich jenseit der Focalweite, so werden die Strahlen **Eg**, **EG** von demselben Punkte **E**, nachdem sie durch die Linse gegangen sind, convergiren und einander unter der Achse durchschneiden, da **E G** durch den Mittelpunkt der Linse geht, folglich die Richtung nach der Brechung nicht verändert; alle Strahlen, die von den verschiedenen Punkten des Gegenstandes ausgehen, werden ähnliche Richtungen nehmen, folglich wird auf dem entgegengesetzten Theile der Linse ein verkehrtes Bild des Gegenstandes formirt werden. Wenn die Linse in eine Oeffnung eines Fensterladens befestigt und alles Licht, ausgenommen jenes, das durch sie hereinfällt, ausgeschlossen wird, so kann das Bild sichtbar werden, indem man ein Blatt weißes Papier vor die Oeffnung hält, um es zu empfangen. Ein so eingerichtetes Zimmer wäre buchstäblich eine Camera obscura, ein verdunkeltes Gemach.

Organe des Gesichts.

Die Augen der Thiere haben eine gewisse Aehnlichkeit mit einer Camera obscura, dem eben erwähnten optischen Instrumente; denn die Bilder der äußern Gegenstände innerhalb des Sehkreises werden in der That im Auge selbst und auf die Art, wie sie nachher beschrieben werden wird, formirt.

Bei den Menschen und andern Thieren, welche bestimmt sind, die Oberfläche der Erde zu bewohnen, ist der Augapfel eine fast sphärische, vorn etwas abgeplattete Masse. Diejenigen Thiere, welche im Wasser leben, haben sehr platte Augen; der Augapfel bildet in den meisten Fischen nur eine halbe Sphäre, und in dem Rochengeschlechte hat er nur ein Viertel der Dicke einer Sphäre. Bei denjenigen Vögeln, die in die höhere Region der Atmosphäre aufsteigen, ist der vordere Theil des Auges uweilen flach und hat zuweilen die Gestalt

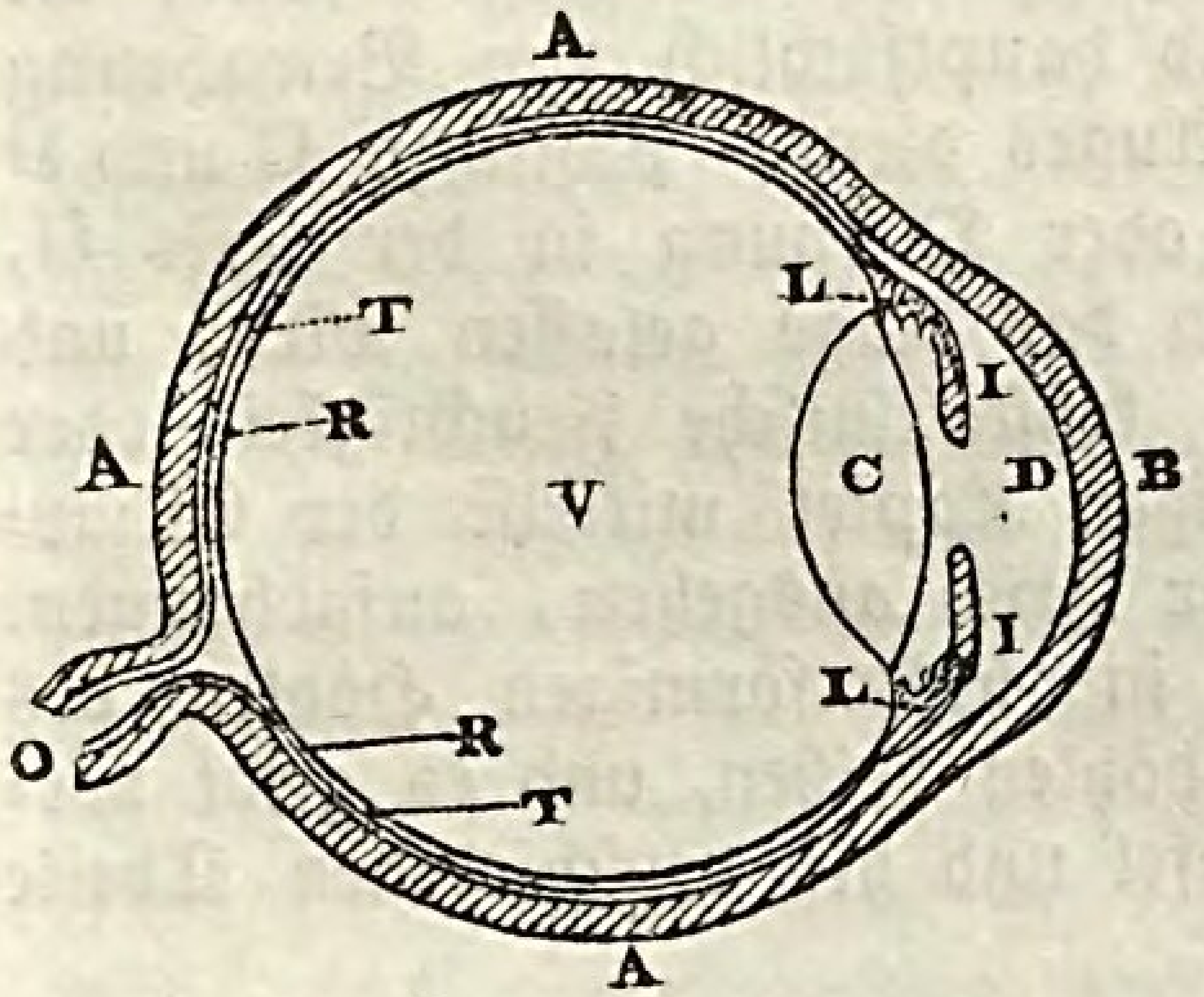
eines abgeschnittenen Kegels; der obere Theil bildet einen kurzen Cylinder, den eine sehr convexe Erhöhung überragt. Die Augen der Spinnen, Scorpione rc. sind blos sehr kleine Punkte, die man kaum als Sehorgane erkennen würde, wenn ihre Verrichtungen nicht durch genaue Experimente nachgewiesen worden wären. Tausendfüße, Fliegen rc. haben oft im Verhältnisse zum Umfange des Insektes sehr große Augen, welche aus einer Menge kleiner Flächen bestehen. Manche Insekten haben zugleich einfache und zusammengesetzte Augen, z. B. die Wespen, Heuschrecken und einige andere. Auch giebt es eine Menge von Thieren, in denen man kein Sehorgan entdeckt hat; es scheint jedoch, daß bei ihnen der Sinn des Gefühls außerordentlich zart ist und dadurch den Mangel anderer Sinne ersetzt.

In der folgenden Beschreibung der Sehorgane und der von ihnen abhängigen Erscheinungen wird unsere Aufmerksamkeit auf den Bau und die Verrichtungen des menschlichen Auges beschränkt sein. Aber die Augen einiger vierfüßiger Thiere, wie des Ochsen oder Schafes, gleichen denen des Menschen in so weit, daß man sich hinreichend genaue Vorstellungen von den wesentlichen Theilen des Auges verschaffen kann, indem man das Auge eines oder des andern dieser Thiere secirt und mit dem in nachstehender Beschreibung auseinandergesetzten Mechanismus vergleicht.

Die nebenstehende Abbildung zeigt eine Frontansicht des Auges, oder den vordern Theil des Augapfels. Der weiße Theil, welcher den Mittelpunkt umgibt, heißt die weiße Haut oder undurchsichtige Hornhaut, auch sklerotische Haut *) (tunica sclerotica), a a, dehnt

*) Von dem Griechischen σκληρός, hart, fest, oder σκληρότης die Härte.

sich um den hintern Theil des Augapfels aus, und schließt, da sie aus dichtverbundenen sehnigen Fasern besteht, die übrigen Theile des Auges wie in einem Sacke in sich. Sie ist vollkommen undurchsichtig und dehnt sich daher nicht über den ganzen Vordertheil des Auges aus, sondern stößt an die durchsichtige Hornhaut b, welche sich von ihr hauptsächlich eben durch ihre vollständige Durchsichtigkeit unterscheidet, und daher gleichsam die Stelle eines Fensters vertritt, um das Licht in das Innere des Auges zur Gestaltung von Bildern einzulassen. Innerhalb oder hinter der Hornhaut liegt die Regenbogenhaut*), c, gewöhnlich von dunkelbrauner oder graublauer Farbe, woher der Unterschied zwischen schwarzen, blauen und grauen Augen kömmt; doch giebt es auch Personen von außerordentlich weißer Gesichtsfarbe und weißem Haar (Albinos), die rothe Augen haben, weil die Iris oder Regenbogenhaut roth ist, wie in den Augen des weißen Kaninchens. Im Mittelpunkte des Auges von der Iris umgeben, liegt ein schwarzer, kreisrunder Fleck von wandelbaren Dimensionen, genannt die Pupille, d, durch welche die Lichtstrahlen in die Kammern des Auges dringen.



Einen horizontalen Durchschnitt des Auges zeigt die Randabbildung, worin man die bereits beschriebenen Theile so wie jene des Innern des Auges gewahrt. Man wird bemerken, daß das Auge von vier Häuten eingeschlossen ist. Diese sind: die undurchsichtige Hornhaut

*) Man nennt die Iris oder Regenbogenhaut auch Blendung. Anm. des Uebers.

AAA; die durchsichtige Hornhaut BB, welche mit jener auf der Vorderseite des Auges verbunden ist; die Gefäß- oder Aderhaut TT, welche eine Art Ausfüllung der undurchsichtigen Hornhaut bildet und deren äußere Oberfläche mit einem braunen Ueberzuge, Augenschwarz (pigmentum nigrum) genannt, bedeckt ist, woran die innere Augenhaut oder Netzhaut*) XX, liegt, welche ein zartes, netzförmiges Häutchen ist, das sich über die hintere Kammer des Auges ausdehnt und aus dem Sehnerv C entspringt, durch welchen die Empfindungen dem Gehirne mitgetheilt werden. Das Innere des Auges, oder der hohle Raum, der von den ebenbeschriebenen Häuten eingeschlossen wird, ist von drei Substanzen angefüllt, welche man Feuchtigkeiten nennt. Die erste oder wässerige Feuchtigkeit, D, ist eine Flüssigkeit, welche sich unmittelbar hinter der durchsichtigen Hornhaut und vor der Regenbogenhaut befindet; die zweite der Lage nach ist die krystallinische Feuchtigkeit, C, unmittelbar hinter der Regenbogenhaut und bildet eine consistente durchsichtige Linse, hinten mehr convex als vorn; die dritte ist die gläserne Feuchtigkeit V, eine Art klebriger Masse, von mittlerer Consistenz zwischen den beiden andern Feuchtigkeiten, welche die hintere Kammer des Auges füllt, die anderen Theile stützt und hauptsächlich zur Bewahrung der runden Gestalt des Auges dient. Zwischen C und D befindet sich die Pupille oder Oeffnung in der Iris II, durch welche das Licht in das Auge gelassen wird; und hinter der Iris ist die krystallinische Feuchtigkeit oder Linse in einer durchsichtigen Kapsel mittelst der Ciliarfortsätze LL, die von der Iris ausgehen, aufgehangen.

Die Augen liegen in beckenförmigen Höhlen des Schädels, welche Augenhöhlen heißen, und es giebt verschiedene, an den Augapfel und die verschiedenen Theile

---

*) Auch Nerven- oder Markhaut genannt.

Anm. des Uebers.

jeder Augenhöhle angeheftete Muskel, welche durch ihre Structur dem Auge eine rollende Bewegung oder eine Bewegung seitwärts mittheilen und dadurch beistehen, das Sehorgan nach besonderen Gegenständen zu richten. Augenlieder, die gleichfalls durch Muskeln bewegt werden und mit Wimpern befranst sind, dienen zum Schutze der Augen gegen Staub und dazu, daß sie zu helles Licht von dem Auge theilweise oder durch ihre Schließung auch ganz ausschließen. Ferner giebt es Drüsen zur Absonderung einer Feuchtigkeit, um die Hornhaut zu benetzen, deren Oberfläche durch die Bewegung der Augenlieder klar gehalten und in einem zum vollständigen Sehen geschickten Zustande bewahrt wird.

Man kann das Auge, wie bereits bemerkt worden, als eine Camera obscura betrachten, in welche die Lichtstrahlen von den Gegenständen durch die Pupille einfallen und ein Bild auf der Netzhaut formiren, welches die Wahrnehmung des sichtbaren Gegenstandes, der durch den Sehnerven dem Gehirne zugeführt wird, bewirkt. Daß ein wahrnehmbares Bild in dieser Weise wirklich auf der Netzhaut gebildet wird, kann man darthun, wenn man mit einem scharfen Messer die undurchsichtige Hornhaut eines Ochsenauges wegschneidet, bis sie so dünn ist, daß sie durchsichtig wird; es wird dadurch in eine kleine Camera obscura verwandelt werden und die Gegenstände, die man vorn vor die Hornhaut hält, wird man hinten auf der Netzhaut abgebildet sehen. Man sollte glauben, daß, wenn ein leuchtender Punkt oder ein erleuchteter Gegenstand sich dem Auge zu nahe befindet, die davon ausgehenden Lichtstrahlen ein Bild jenseit der Netzhaut bilden würden, oder dieses vielmehr undeutlich und verworren sein müsse, und daß eben so, wenn der leuchtende Punkt zu entfernt ist, das Bild zu verworren sein wird, weil die Strahlen nach einem Punkte convergiren, der vor der Netzhaut liegt. Damit daher das Bild auf der Netzhaut stets bestimmt sich zeige, mußte Vorsehung getroffen werden, um die Brechung der Licht-

strahlen innerhalb des Auges im Verhältnisse zur Entfernung der zu sehenden Gegenstände zu vermehren oder zu vermindern. Dies scheint durch die krystallinische Feuchtigkeit oder Linse bewirkt zu werden, welche aus concentrischen Schichten durchsichtiger Fasern besteht, durch deren Wirkung ihre Gestalt so verändert wird, daß das Auge den Entfernungen der verschiedenen Gegenstände entspricht. Und in verschiedenen Thieren ist die Gestalt der Krystalllinse und ihre Lage in Bezug auf die Netzhaut so verändert, daß die Sehefähigkeit in jedem Thiere den besondern Umständen seiner Lebensweise anpaßt.

Das Sehen der Gegenstände in verschiedenen Entfernungen mag vielleicht auch durch den veränderlichen Druck der Muskeln des Augapfels erleichtert werden, obschon man aus den Experimenten des Dr. T. Young schließen muß, daß ihre Thätigkeit keine Veränderung in der Gestalt der Hornhaut hervorbringen kann. Wenn man nahe Gegenstände betrachtet, wird die Pupille des Auges zusammengezogen, es können nur wenige Strahlen in das Auge eingehen, und solche Gegenstände werden daher deutlich wahrgenommen; beim Betrachten ferner Gegenstände erweitert sich dagegen die Pupille, so daß mehr Strahlen auf die Netzhaut fallen können. In der Dunkelheit erweitert sich die Pupille des Auges, um so viel Lichtstrahlen als möglich einzulassen; bei einem starken Lichte dagegen verengert sich ihr Umfang, wie man leicht bemerken kann, wenn man ein brennendes Kerzenlicht den Augen einer andern Person nahe bringt. Wenn die Augen zu starkem Lichte plötzlich ausgesetzt werden, so wird eine unangenehme Empfindung erregt, weil zu viele Strahlen durch die erweiterte Pupille eindringen, und wenn man vom hellen Tageslichte in ein dunkles Gemach tritt, sieht man die Gegenstände nicht eher, als bis die zusammengezogene Pupille sich hinreichend erweitert hat, um eine genügende Zahl von Strahlen aufzunehmen damit die Gegenstände sichtbar werden.

Ein Gegenstand wird deutlich und einfach gesehen, obschon getrennte Bilder desselben auf der Netzhaut jedes Auges formirt werden. Dies hängt davon ab, daß die Bilder correspondirende Punkte auf jeder Netzhaut einnehmen, mithin durchschneiden sich die Richtungen der optischen Achsen der beiden Augen, und ein deutliches Bild wird an diesem Punkte wahrgenommen. Wenn jedoch ein Mensch, während er mit beiden Augen starr auf einen nahen Gegenstand blickt, sich bemüht, mit dem einen Auge nach einem entfernten Gegenstande zu sehen, ohne den erstern aus dem Auge zu lassen, so wird er von diesem ein doppeltes Bild gewahren, eins etwas über dem andern; sowie er aber aufhört, nach dem zweiten Gegenstande zu sehen, wird das doppelte Bild wieder in ein einfaches zusammenschmelzen. Eine ähnliche Wirkung kann man hervorbringen, wenn man mit dem Finger an den einen Augapfel drückt und dadurch dessen optische Achse verrückt. Doppeltes Sehen wird auf ähnliche Weise auch durch Betrunkenheit oder Wahnsinn hervorgebracht. Viele Thiere sehen die Gegenstände nie mit mehr als einem Auge auf einmal, wie die meisten Arten von Vögeln, Eidechsen und Fischen; auch giebt es Fischarten, die blos die Gegenstände sehen können, welche sich über ihnen befinden.

Obschon die Wahrnehmung der sichtbaren Gegenstände zuverlässig mittelst ihrer auf der Netzhaut formirten Bilder hervorgebracht wird, ist doch die Art wie die Sensation durch den Sehnerven dem Gehirne zugeführt wird, ein Geheimniß, das wir nicht zu durchdringen vermögen. Es giebt auch einige eigenthümliche Verhältnisse zwischen den Bildern der Gegenstände und der Art, wie sie wahrgenommen werden, die zu verschiedenen Vermuthungen Anlaß gegeben haben, aber nie befriedigend erklärt worden sind. So ist es gewiß, daß das Bild auf der Netzhaut in Bezug auf die Lage des denselben hervorbringenden Gegenstandes stets verkehrt ist, gerade wie die Bilder mittelst einer ein-

zigen Linse in einer Camera obscura gebildet werden, wovon man sich durch das bereits*) erwähnte Experiment mit dem Ochsenauge überzeugen kann. Einige Schriftsteller über Optik begnügen sich mit der Behauptung, daß wir in der That alle Gegenstände verkehrt sehen und daß der Verstand den Irrthum rectificire, eine Annahme, die alles Beweises entbehrt. Einige suchen diese Erscheinung philosophischer so zu erklären, daß sie die Formation eines zweiten, von dem auf der Netzhaut empfangenen, nach einer andern Ebene reflektiven Bildes annehmen, wodurch derselbe die richtige Lage erhält**). Aber es ist eine weitere Nachforschung nothwendig, um uns in den Stand zu setzen, das Verhältniß zwischen der sichtbaren Richtung der Gegenstände und der Lage der Bilder zu erklären, welche von ihnen im Auge formirt werden.

Es giebt jedoch Fälle, in welchen die Urtheilskraft uns mit Hülfe anderer Sinne in den Stand setzt, die irrigen durch den Sinn des Gesichtes hervorgebrachten Wahrnehmungen zu berichtigen; auf diese Art ermitteln wir mittelst des Tastsinnes und durch langgewohnte Beobachtungen die Gestalten und relativen Entfernungen sichtbarer Gegenstände. Es ist bemerkt worden, daß Personen, die wegen des Daseins von Staar in den Augen blind geboren waren, und denen bei reiferem Alter eine chirurgische Operation ihr Gesicht wiedergab, anfangs glaubten, daß die Gegenstände, die sie erblickten, in unmittelbarer Berührung mit ihren Augen ständen; es erschien ihnen Alles so, als wäre es auf einer ebenen Fläche gemalt; sie waren unfähig, die Gegenstände durch das

---

*) S. 67.

**) S. a New Theory of Vision, by Andrew Horn. S. auch Encyclopedia Metropolitana; Mixed Sciences, p. 459.

Gesicht allein zu erkennen und erwarben diese Fähigkeit allmählig, indem sie ihre neue Empfindung durch Berührung mit den wirklichen Gegenständen verglichen. So ist ein Mensch, welcher blind geboren war und durch das Stechen des Staars sein Gesicht erhalten hat, nicht im Stande, einen Würfel oder ein anderes Viereck von einer Marmor- oder Billiardkugel zu unterscheiden, ohne sie zu berühren; auch erkennt er die Personen, mit welchen er in den vertrautesten Verhältnissen stand, nicht, vermag seinen Vater nicht von seiner Mutter, seinen Bruder nicht von seiner Schwester zu unterscheiden, ohne daß er ihre Personen oder Kleider betastet oder ihre Stimmen hört. Personen in solcher Lage erwerben den richtigen Sinn des Gesichtes erst nach und nach wie die Kinder, und erst durch Erfahrung lernen sie zwischen den sie umgebenden Gegenständen umhergehen, ohne sich beständig zu fürchten, gegen Alles, was sie sehen, anzustoßen.

Die Processe, mittelst welcher wir zu allen Zeiten in Betreff der Größe und Entfernungen der sichtbaren Körper urtheilen, sind auf ähnliche Weise das Ergebniß unseres Raisonnements über die Erscheinungen des Sehens; die Erfahrung ändert mithin bedeutend die Begriffe, die wir uns von dem Umfange eines Gegenstandes oder seiner Lage im Raume nach dem Sehwinkel bilden. So z. B. wird uns ein Mensch nach dem Gesichtswinkel in einer Entfernung von dreihundert Schritten viel kleiner vorkommen als in einer Entfernung von einhundert; nichtsdestoweniger sind wir im Stande, über die Größe des Menschen in beiden Entfernungen sehr richtig zu urtheilen, vorausgesetzt, es sind andere Gegenstände zur Hand, die uns als Maßstab der Vergleichung dienen können. Wir berichtigten daher das unter dem Sehwinkel formirte Bild durch unsere früher gewonnene Vorstellung von der gewöhnlichen Höhe eines Menschen, indem wir es im Geiste mit einer Hausthüre, einem Baumstamme, oder einem andern Gegenstande in der Nähe vergleichen, dessen Umfang wir kennen. Wenn

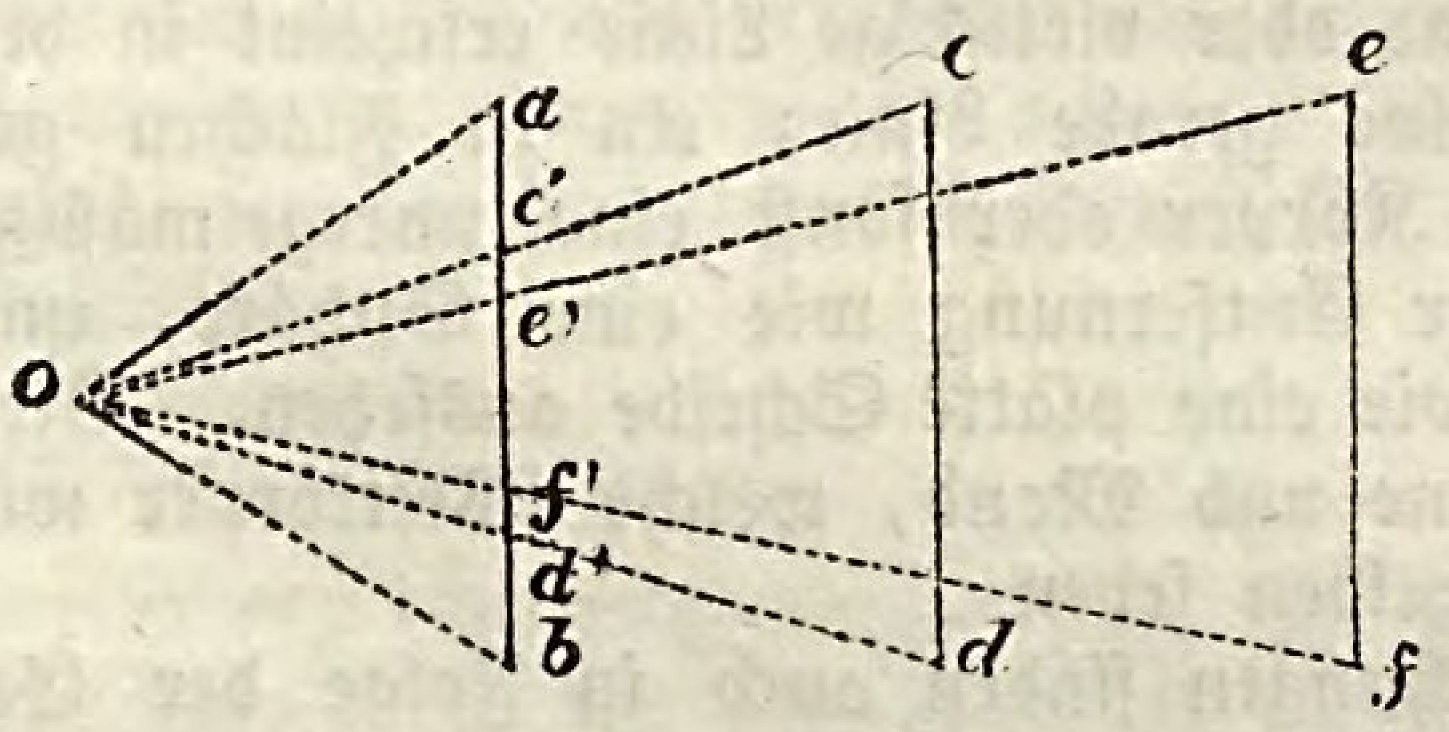
wir daher einen Mann auf einer nackten Ebene, z. B. auf einer weitern Sandfläche am Meere in einer Entfernung von 300 Schritten sehen, wird er sehr klein aussehen und wir mögen ihn leicht für ein kleines Kind halten, da wir in seinem Betreff nur vermöge des Sehwinkels urtheilen können und keinen Vergleichungsgegenstand in der Nähe haben. Dr. Arnott hat ein interessantes Beispiel des eben erläuterten optischen Effectes angeführt. „Ich segelte einst,“ sagt er, „zwischen den Canarien-Inseln durch und kam an dem weitberühmten Pick von Teneriffa vorüber. Er war während des Nachmittags des vorigen Tages in einer Entfernung von mehr als hundert (engl.) Meilen sichtbar gewesen und hatte die allgemeine Erwartung getäuscht, indem er nur wie ein gewöhnlicher ferner Berg erschien, der sich aus dem Ocean erhob; als ihm aber das Schiff am andern Morgen bis auf zwanzig Meilen nahe gekommen war und während ein anderes Schiff, das sechs Meilen näher am Lande segelte, als Maßstab diente, stand er als einer der riesenhaftesten Gegenstände auf Erden da, welche das menschliche Auge mit einem Blicke übersehen kann. Das zweite Schiff, dessen Seiten mit ihren Kanonenreihen an Ausdehnung der Fronte zehn großer Häuser in einer Straße gleich kam und dessen Masten sich wie hohe Thürme erhoben, erschien, nur als ein Punkt auf dem Meere, wenn es mit dem ungeheuren Berge jenseits verglichen wurde, der sich erhaben gegen den Himmel thürmte, und um welche die Wolkenmassen, obgleich so hoch als jene, welche über die Gefilde von Britannien schweben, noch niedrig an seinen Seiten zu hängen schienen. Vor allen sehr hohen Bergen erhebt sich nur der von Teneriffa gerade und steil aus dem Ocean bis zu einer Höhe von 13,000 (engl.) Fuß*), und macht als Gegenstand der Betrach-

*) Nach Humboldts Messung 1905 Toisen; nach Baumgartners Tafel 11,378 oder 11,406 Fuß.

Anm. des Uebers.

tung mehr Eindruck als die noch höhern Berge der Himalaya- und Andenkette, weil sich dieselbe von Hochebenen in Mitte sie umgebender Berge erheben *)."

Es entstehen verschiedene optische Täuschungen, wenn man genöthigt ist, den Umfang und die Entfernungen der Gegenstände blos nach dem Sehwinkel zu beurtheilen. So wird eine Person, die sich an dem einen Ende einer langen Allee, Gallerie oder eines geradlinigen Canales befindet, gewahr werden, daß die Bäume der Allee sich an Höhe vermindern, je ferner sie sind, daß die zwei Baumreihen convergiren und sich in einem Punkte zu vereinigen scheinen, wenn die Allee lang ist; daß die zwei Seiten eines Canals und der Fußboden und die Seitenwände einer Gallerie auf gleiche Weise convergiren und in einen Punkt zusammenlaufen, wenn die Gallerie lang ist. Diese optischen Wirkungen lassen sich nachahmen, indem man die Seiten eines Canals in convergirende Linien baut und eben so die Bäume einer Allee pflanzt und die ferneren Bäume allmählig vermindert, wodurch Allee oder Canal länger erscheinen werden als sie wirklich sind. Die nebenstehende Abbildung wird zur Erläuterung der scheinbaren Verkleinerung der Gegenstände unter verschiedenen Sehwinkeln dienen. Es sei ab irgend ein Gegenstand,



z. B. ein Baum, so wird derselbe einem Auge, das sich zu O befindet, unter dem Sehwinkel a O b erscheinen, und die Größe des Bildes auf der Netzhaut wird ein gewisses Verhältniß haben; wenn nun ein anderer Baum cd von

*) Elements of Physics, vol. II. pp. 264, 265.

gleicher Höhe wie der erste, sich noch einmal so weit wie dieser vom Auge befindet, so wird der Sehwinkel c O d sein, und die scheinbare Höhe des zweiten Baumes wird sich zum ersten wie c′d′ zu a b verhalten; und wenn ein dritter Baum sich ferner zu e f befindet, so wird seine scheinbare Höhe zu der des ersten sich wie e f zu a b verhalten; d. i. der Schauende wird diese drei Bäume, die eigentlich eine gleiche Höhe haben, so sehen, als wären drei Bäume in derselben Entfernung und von den relativen Höhen ab, c′d′ und e′f′.

Wenn die Gegenstände sehr entfernt sind, so ist es unmöglich, ein richtiges Urtheil in Betreff ihrer besonderen Lage zu fällen. Es erscheint mithin eine unregelmäßige Linie als der Bogen eines Cirkels, weil wir glauben, daß alle Punkte gleichweit von uns entfernt sind; wenn wir uns daher in Mitte einer Ebene befinden, so scheinen die entfernten Gegenstände einen Cirkel um uns her zu bilden. Aus demselben Grunde hat der Himmel das Aussehen einer concaven mit Sternen besäeten Hemisphäre, denn beim ersten Anblicke scheinen alle Sterne sich gleichweit von dem Beobachter zu befinden. Eine kleine krumme oder vieleckige Linie erscheint in der Ferne als eine kleine gerade Linie; ein in Flächen getheilter vieleckiger Körper oder sonst eine unregelmäßige Masse wird in der Entfernung wie eine Sphäre, und noch weiter weg wie eine platte Scheibe aussehen. Dies geschieht mit Sonne und Mond, welche Weltkörper wir als kreisrunde Scheiben sehen.

Optische Täuschungen finden auch in Folge der Gestalten der sich bewegenden Körper statt. Wenn eine Sphäre sich in der Ferne um ihre Achse wälzt, so ist es unmöglich, deren Bewegung wahrzunehmen, außer es gibt auf ihrer Oberfläche Flecken oder sichtbare Unregelmäßigkeiten, deren abwechselndes Erscheinen und Verschwinden beobachtet werden kann; so waren die Astronomen nur dadurch im Stande, die Umwälzungsbewegung der Sonne und der Planeten zu ermitteln, daß sie Flek-

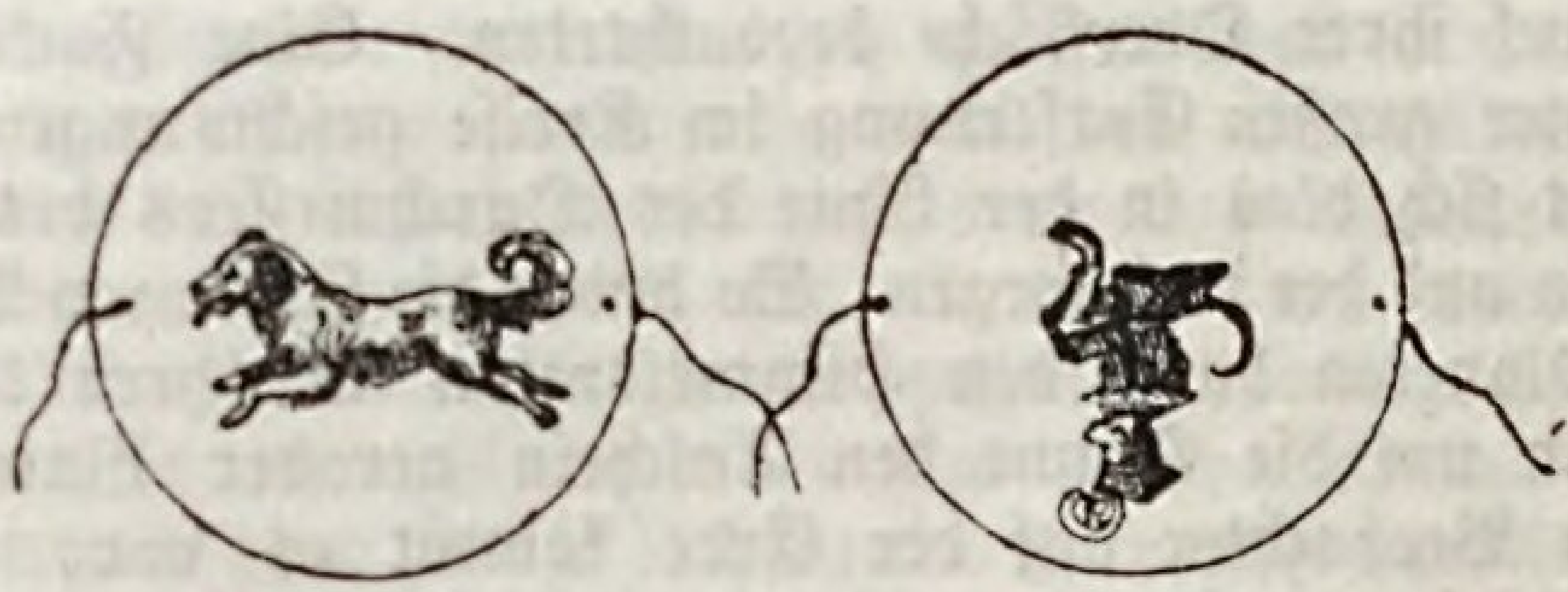
ken auf ihrer Oberfläche beobachteten. Eine Fackel, die in einer großen Entfernung im Kreise geschwungen wird, scheint sich blos in der Linie des Durchmessers des Kreises hin und her zu bewegen. So haben die sichtbaren Bahnen der Planeten durch den Himmelsraum in ihren Umwälzungen um die Sonne den Anschein gerader Linien und einem Beobachter auf der Erde kömmt es vor, als ob jeder dieser leuchtenden Körper abwechselnd von einer Extremität derselben zur andern wandere.

Der Eindruck des Lichtes auf das Auge ist nicht blos augenblicklich, sondern dauert noch eine gewisse Zeit an, nachdem der leuchtende oder erleuchtete Gegenstand verschwunden ist. Aus d'Arcys Experimenten hat sich ergeben, daß die Wirkung des Lichtes auf der Netzhaut ungefähr $1/7$ oder $1/8$ Secunde fortwährt, nachdem das Licht bereits entfernt worden ist*). Dieser Ursache ist es zuzuschreiben, daß man einen Lichtkreis sieht, wenn man einen brennenden Stock mit Schnelligkeit rundum schwingt, eine Erscheinung, mit welcher wohl jeder vertraut sein wird. Nach demselben Grundsatz ist das unterhaltende Spielzeug, das Thaumatrop**) verfertigt, welches Dr. Poris erfunden und in seinem Werke „**Philosophy in Sport made science in Earnest** (Philosophie im Scherz zu Wissenschaft in Ernst verwandelt)."

---

*) S. eine Abhandlung über die Dauer der Eindrücke des Sehens in den **Mémoires de l'Académie des Sciences, à Paris 1765. p. 493.**

**) Von dem Griechischen θαῦμα ein Wunder und τρέπω, ich drehe.



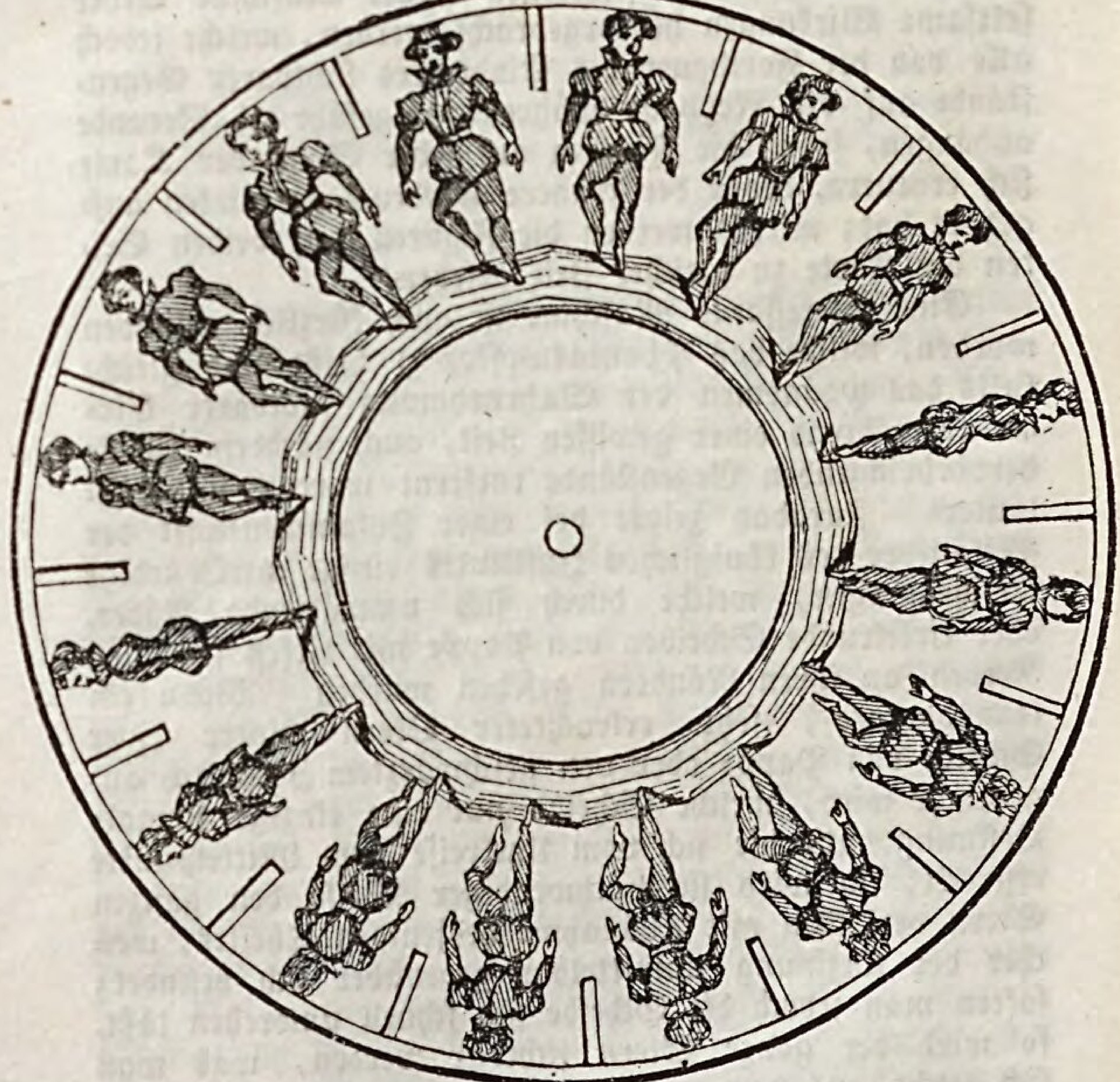
Das Thaumatrop besteht aus runden Karten, welche an ihren gegenüberstehenden Rändern mit seidenen Fäden versehen sind wie in der obenstehenden Figur. Mittelst dieser Fäden wird eine der Karten mit einer gewissen Geschwindigkeit umhergeschnellt, wo beide Seiten zu gleicher Zeit sichtbar sein werden, und man jeden Gegenstand, der auf ihnen gezeichnet ist, z. B. einen Hund auf der einen und einen Affen auf der andern Seite, gleichzeitig sehen kann. Da nun die Theile des Bildes vereinigt sind, sieht man, wenn es umher gewirbelt wird, den Affen auf den Rücken des Hundes sitzen. Der Erfinder hat das Thaumatrop verbessert, indem er eine Vorrichtung zur Aenderung der Rotationsweise traf, während die Kante umhergedreht wird, sodaß die auf den entgegengesetzten Theilen derselben sich befindlichen Figuren ihre Lage gegeneinander verändern. Dies wird dadurch bewerkstelligt, daß man zwei Fäden an eine oder beide Seiten der Karte befestigt, die so miteinander in Verbindung stehen, daß sie auf verschiedene Punkte des Randes je nach dem Grade der angewendeten Spannung wirken. Die Erscheinungen werden dadurch abwechselnder und unterhaltender. Eine Karte, auf welcher links ein Pferd, rechts ein Jokey abgebildet ist, zeigt beim Umdrehen den Reiter in dem Sattel; zieht man jedoch an dem Faden, während die Karte herumwirbelt, so macht der Jokey einen Burzelbaum über den Kopf des Pferdes; läßt man den Faden dagegen nach, so sitzt er wieder im Sattel, und so können durch verschiedene Grade der Spannung andere Posituren erzielt werden.

Es können durch Modificationen in der Maschine mehre seltsame Wirkungen hervorgebracht werden, welche jedoch alle von der Fortdauer des Eindruckes sichtbarer Gegenstände auf die Netzhaut während ungefähr $1/8$ Secunde abhängen, sodaß die Figuren auf jeder Seite der Karte sich erneuern, bevor der frühere Eindruck zu wirken aufgehört hat; mithin werden die Figuren auf beiden Seiten der Karte zu gleicher Zeit gesehen.

Eine interessante Maschine ist auch kürzlich erfunden worden, welche das Phantasmoskop*) heißt und gleichfalls das Phänomen der Wahrnehmung sichtbarer Eindrücke während einer gewissen Zeit, auch nachdem die sie hervorbringenden Gegenstände entfernt worden sind, erläutert. Faraday zeigte bei einer Zusammenkunft der Mitglieder des königlichen Institutes einige merkwürdige Erscheinungen, welche durch sich umwälzende Räder, oder cirkelrunde Scheiben von Pappe mit tiefen schmalen Kerben an ihren Rändern gesehen wurden. Wenn ein transparente , sehr erleuchteter Stern hinter einer Scheibe von Pappe oder von geschwärztem Zinnblech angebracht wird, welche Scheibe nur eine einzige schmale Oeffnung hat, die sich vom Umkreise zum Mittelpunkte erstreckt, so wird sie nothwendiger Weise den ganzen Stern verhüllen mit Ausnahme desjenigen Theiles, welcher der Oeffnung unmittelbar gegenüber sich befindet; sofern man jedoch die Scheibe sich schnell umdrehen läßt, so wird der ganze Stern sichtbar werden, was man sich leicht aus dem erklären kann, was in Bezug auf die Dauer der Eindrücke des Lichtes auf der Netzhaut gesagt worden ist.

---

*) Von dem Griechischen φάντασμα ein Schauspiel und σκοπέω ich sehe.



Bei dem Phantasmoskop sind die Scheiben von Pappe mit einer Menge von Figuren in verschiedenen Stellungen bemalt, und da die Ränder der Scheiben wie Zähne eines Rades eingeschnitten sind, welche zwischen sich Oeffnungen lassen, so werden die Figuren, wenn die Scheibe sich auf einem Spiegel dreht und man durch die Oeffnungen nach den in einem Spiegel reflektirten Gegenständen blickt, die vielfältigsten und groteskesten Stellungen anzunehmen scheinen.

So werden die Figuren in obigem Holzschnitt, wenn sie auf die richtige Weise gesehen werden, zu pirouettiren scheinen, wie eben so viele Operntänzer. Durch verschiedene Anordnungen der Oeffnungen und Verschiedenartigkeit der Zeichnungen kann man auf ähnliche Weise gähnende Gestalten, hüpfende Frösche, kriechende Schlangen und andere seltsame Combinationen hervorbringen.

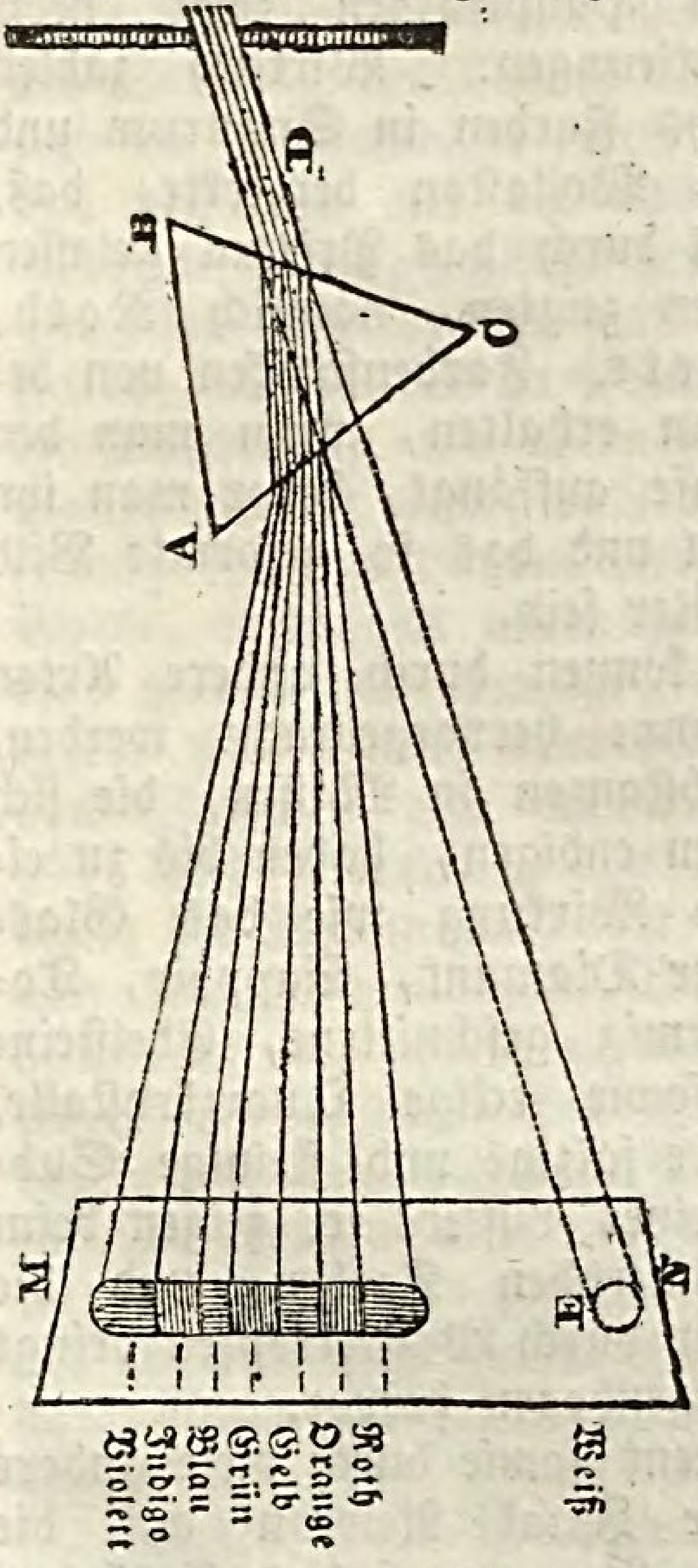
Eine der interessantesten Thatsachen in Bezug auf das Sehvermögen ist die gänzliche Unempfindlichkeit gegen den Eindruck des Lichtes in einem gewissen Punkte der Netzhaut, so daß das Bild jedes Gegenstandes, welches auf diesen Punkt fällt, unsichtbar bleibt. Wenn wir mit dem rechten Auge sehen, so wird dieser Punkt ungefähr 15 Grad rechts von dem beobachteten Gegenstande, oder rechts von der Axis des Auges oder dem Punkte des deutlichsten Sehens sein. Wenn wir mit dem linken Auge sehen, so wird dieser Punkt eben so weit links sein. Dieser Punkt ist die Basis des optischen Nervens und seine Unempfindlichkeit gegen das Licht wurde zuerst von dem französischen Naturforscher Mariotte entdeckt. Diese merkwürdige Erscheinung kann man durch ein Experiment beweisen, wenn man auf einem Bogen Schreibpapier zwei gefärbte Oblaten in eine Entfernung von drei Zoll legt; wenn man nun auf die Oblate zur linken Hand mit dem rechten Auge in einer Entfernung von ungefähr einem Fuße blickt, und das Auge gerade über der Oblate und beide Augen parallel mit der Linie, welche die Oblaten vereinigt, hält und dann das linke Auge schließt, so wird die Oblate zur rechten Hand unsichtbar werden; eine gleiche Wirkung wird erfolgen, wenn man das rechte Auge schließt, und mit dem linken blickt. Nach Daniel Bernouilli beträgt dieser unempfindliche Fleck gegen 1/7 des Durchmessers des Auges.

Farbenlehre.

Eine der auffallendsten und interessantesten Eigenschaften des Lichtes ist diejenige, vermöge welcher es den Körpern Farbe mittheilt. Die übliche Sprachform schreibt das Dasein der Farben inwohnenden Eigenschaften der Körper zu, an deren Oberfläche wir jene bemerken; eine ununterrichtete Person könnte daher, wenn von rothen Ziegeln und grünen Oblaten die Rede ist, die rothe Farbe der Ziegel oder die grüne der Oblate eben so gut für eigenthümliche Eigenschaften dieser Körper halten, als die viereckige Gestalt der einen und die kreisrunde der andern. Wir wissen jedoch aus Erfahrung, daß, wenngleich die Farbe zum Theil von dem Gewebe der Substanzen und der Beschaffenheit ihrer Oberfläche abhängt, doch das Licht die wesentliche und wirksame Ursache der Farbe ist, weil die Körper nicht nur in Abwesenheit des Lichtes keine Farbe haben, sondern auch weil, wie nachher gezeigt werden wird, ihre Farben dadurch geändert werden können, daß man sie gewissen Modificationen des Lichtes unterwirft, durch welches sie sichtbar werden. Daher geschieht es, daß mehrere farbige Gegenstände, deren besondere Tinten bei hellem Tageslichte ohne Mühe unterschieden werden können, eine und dieselbe Farbe in der Abenddämmerung oder beim Kerzenlichte haben. Man kann daher mit Recht behaupten, daß die Farbe einer Substanz die Wirkung des Lichtes auf eine Oberfläche sei, welche geeignet ist, eine besondere Farbe desselben zurückzuwerfen.

Der Einfluß des Lichtes auf die Hervorbringung von Farbe wird durch die Brechung auf eine merkwürdige Weise modificirt. Diese Wirkung des Lichtes wird am besten mittelst eines dreieckigen Prisma von Glas gezeigt. Wenn man ein solches Prisma mit einer seiner scharfen Kanten dem Auge gegenüber hält, sieht man die Ge-

genstände nicht doppelt, wie wenn man gerade durch eine der flachen Seiten blickt, wohl aber sieht man sie mehr oder minder verlängert, je nach dem Winkel, in welchem man das Prisma hält; auch werden sie mit allen Farben des Regenbogens begleitet sein.



Die Auflösung eines Strahles des Sonnenlichtes durch Brechung in verschiedene Farben kann man genauer zeigen, wenn man einen Strahl durch die Oeffnung in einem Fensterladen in ein verdunkeltes Zimmer und auf das durchsichtige Prisma **ABC** fallen läßt, wie in nebenstehender Figur. Ein dergestalt eingelassener, durch nichts gehinderter Strahl würde auf einer ebenen Fläche die kreisrunde weiße Lichtscheibe **E** bilden; wenn man jedoch das Prisma so stellt, daß der Strahl in gleichen Winkeln in dasselbe eintritt und es verläßt, so wird er auf eine solche Weise gebrochen, daß er auf irgend einem in geeigneter Entfernung aufgestellten Schirm ein längliches Bild formirt, welches das Farbenbild (Schattenspiel) der Sonne heißt und horizontal in sieben gefärbte Räume oder Streifen von ungleicher Ausdehnung getheilt ist, die einander in der an der Figur bezeichneten Ordnung folgen: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett.

Diese Streifen sind durch keine besondere Linie geschieden, sodaß es schwer zu bestimmen ist, wo der eine aufhört und der andere anfängt; die verschiedenen Tinten an ihren Rändern fließen ineinander und vereinigen sich fast unmerklich mit der zunächst kommenden, so daß das ganze Spectrum die sieben Hauptfarben zeigt nebst Zwischenfarben oder Schattirungen. Wirklich zählen einige Schriftsteller nur sechs Farben in Spectrum und lassen Indigo aus und Dr. Wollaston bemerkte, daß, wenn ein sehr kleiner Strahl durch das Prisma gelassen wurde, sich nur vier Farben zeigten, nämlich Roth, Gelbgrün, Blau, Violett. Farbenstreifen von bestimmten Umrissen kann man erhalten, wenn man den Strahl zuerst auf einer Linse auffängt, bevor man ihn durch das Prisma fallen läßt und das so geformte Bild wird länger, aber viel schmäler sein.

Aehnliche Erscheinungen können durch andere Arten von Licht als das der Sonne hervorgebracht werden, und alle transparenten Substanzen in Massen, die sich mit keinen parallelen Flächen endigen, haben bis zu einem gewissen Grade dieselbe Wirkung wie das Glasprisma. Daher strahlen der Diamant, Sapphir, Topas und andere, facettenförmig geschnittene, Edelsteine in prismatischen Farben, sowie eckige Quarzkrystalle, Kalkspath und mehrere andere salzige und steinige Substanzen; die Glasglöckchen eines Lüsters 2c. zeigen beim Lampenlichte dieselben schimmernden Farben, und die Refraction der Sonnenstrahlen durch Wassertropfen bringt eine ähnliche Wirkung im Regenbogen hervor.

Durch das obige Experiment sowie durch viele andere ähnlicher Natur wurde Sir Isaak Newton auf die Erfindung einer Theorie in Bezug auf das Entstehen des Lichtes und der Farbe geführt, welche eine lange Zeit hindurch fast allgemein von allen Männern vom Fache angenommen war. Die Hervorbringung von Farbenbildern durch Refraction oder Reflexion war lange, bevor Newton seine Forschungen begann, bekannt ge-

wesen, auch hatte man einige unvollständige Versuche gemacht, diese Erscheinung zu erklären; er wies aber nicht nur nach, daß diese Conjecturen durchaus falsch wären, sondern entwickelte auch eine höchst scharfsinnige Hypothese, die auf die Lehre von der Emanation, oder jenes System gegründet war, welches die Erscheinungen des Sehens, des Lichtes und der Farbe auf das Dasein und die Bewegungen eines ätherischen Fluidums bezieht, das beständig aus der Sonne und andern leuchtenden Körpern strömt. „Das gerade Licht der Sonne," sagt Professor Maclaurin, „ist nicht eins in Bezug auf die Farbe, da es nicht in jedem Theile so beschaffen ist, um die Vorstellung von Weiß zu erregen, welche durch das Ganze geweckt wird; es ist im Gegentheile eine Zusammensetzung von verschiedenen Arten von Strahlen, wovon eine Sorte, wenn sie allein wirkt, den Eindruck von Roth, eine zweite von Orange, eine dritte von Gelb, eine vierte von Grün, eine fünfte von Hellblau, eine sechste von Indigo, eine siebente von Violett hervorbringt; alle diese Strahlen aber zusammengenommen machen durch die Vermengung der Sensationen auf das Sehorgan den Eindruck von Weiß, wenngleich jeder Strahl demselben stets seine eigene Farbe einprägt; und aller Unterschied zwischen den Farben der Körper, wenn sie bei hellem Tageslichte gesehen werden, rührt daher, daß farbige Körper nicht alle Arten von Strahlen, die auf sie auffallen, in gleichem Maaße zurückwerfen, sodaß der Körper jene Farbe zu haben scheint, aus welcher das Licht, das von ihm zurückstrahlt, hauptsächlich besteht*)."

Weißes Licht ist daher der Emanationstheorie zufolge eine Vereinigung von Atomen von verschiedenen Farben, welche durch die Wirksamkeit eines Prisma von

*) Maclaurin's Philosophy of Newton, 4to b. III. p. 318.

einander getrennt werden können. Die Körper, wenn sie den Strahlen der Sonne ausgesetzt werden, zeigen diese oder jene Farben, weil ihr Bau von der Art sei, daß sie alle Atome absorbiren, mit Ausnahme der Strahlen ihrer besondern Farbe. Vollkommen weiße Körper absorbiren keine dieser Farbatome, sondern reflectiren das weiße oder zusammengesetzte Licht unverändert; schwarze Substanzen absorbiren alle Farben und haben daher selbst keine Farbe; rothe, gelbe und blaue Substanzen reflectiren bezüglich blos jene Strahlen, durch welche sie sich auszeichnen. Das Geringste, was man zum Vortheile dieses Systemes sagen kann, ist, daß es alle Erscheinungen erklärt; zugleich muß man aber auch zugeben, daß die Annahme von körperlichen Theilchen, welche mit fast unendlicher Geschwindigkeit den Raum nach allen Richtungen durcheilen, rein willkürlich ist und mit der Einfachheit und Ökonomie, die man bei allen Werken der Natur bemerkt, nicht übereinstimmt. Die Erscheinungen können eben so gut durch eine verschiedene Theorie, welche Huygens aufgestellt und Euler vertheidigt hat, erklärt werden. Diese Theorie bezieht sie auf die Erregung und Fortpflanzung von Wellen durch ein ätherisches, den ganzen Raum durchdringendes Fluidum, welches durch unbegreiflich schnelle Vibrationen dem Auge weißes oder farbiges Licht auf eine ähnliche Weise zuführt, wie musikalische und andere Klänge durch langsamere Vibrationen der Luft dem Ohre zugeführt werden. „Jede einfache Farbe hängt," nach diesem Systeme, „von einer gewissen Zahl von Vibrationen oder Schwingungen ab, die in einer gewissen Zeit vollbracht werden, so daß die Zahl der Vibrationen in einer Secunde die rothe Farbe, eine andere Anzahl die gelbe, eine andere die grüne, eine andere die blaue, eine andere die violette bestimmt, was die einfachen Farben sind, die aus einem Regenbogen erscheinen. Wenn daher die Theilchen der Oberfläche gewisser Körper auf eine solche Art angeordnet sind, daß sie, wenn sie in Bewegung

gerathen, in einer Secunde so viele Vibrationen machen, als nothwendig sind, um z. B. die rothe Farbe hervorzubringen, so nenne ich einen solchen Körper roth. — Und Strahlen, die eine solche Anzahl von Schwingungen in einer Secunde hervorbringen, können mit gleichem Fug rothe Strahlen genannt werden; wenn endlich der Sehnerve durch diese halben Strahlen afficirt wird und von ihnen eine Anzahl wahrnehmbar gleicher Anschlagungen in einer Secunde erhält, so empfangen wir den Eindruck der rothen Farbe. — Die Parallele zwischen Schall und Licht ist so vollständig, daß sie selbst in den kleinsten Umständen Stich hält. Als ich das Phänomen der musikalischen Saite zeigte, welche durch die Resonanz blos von gewissen Klängen zum Vibriren gebracht wird, werden Sie sich erinnern, daß Derjenige, welcher den Einklang dieser Saite gibt, am meisten geeignet war, sie in das Schwingen zu bringen, und daß andere Klänge auf sie immer insofern eine Wirkung hervorbrachten, als sie mit ihm stimmten. Und es verhält sich mit dem Lichte ganz wie mit den Farben; denn die verschiedenen Farben (des Farbenbildes der Sonne) entsprechen den verschiedenen musikalischen Klängen*)."

Während die Erscheinungen des Lichtes und der Farben sich sowol aus dem System der Emanation als aus jenem der Undulation erklären lassen, ist es indessen keineswegs unumgänglich nothwendig, eines von beiden anzunehmen. Die Lichtstrahlen, sie seien Reihen materieller Theilchen, die aus leuchtenden Körpern ausströmen, oder Ketten von Wellen, die in einem ätherischen Mittel stattfinden, werden stets in geraden Linien fortgepflanzt, bis sie in ein brechendes oder zurückwerfendes Medium eindringen oder auffallen, wo sie dann entweder in gewissen Winkeln abgebogen, oder in derselben Linie zurückgestrahlt werden, in

*) Euler's Briefe an eine deutsche Fürstin. Ausgabe 1823. vol. I. p. 85.

welcher sie vordrangen; wenn mithin ein Lichtstrahl gebrochen oder zurückgestrahlt wird, läuft er dennoch in einer geraden Linie, obschon diese Linie mit seiner ursprünglichen Richtung auch nicht parallel sei.

Wenn das durch ein Glasprisma erhaltene Farbenbild der Sonne der Länge nach ausgedehnt wird, indem man es zuerst durch eine convexe Linse gehen läßt, so wird man finden, daß die Strahlen der verschiedenen Farben verschiedene Grade von Refrangibilität besitzen, oder daß einige bezüglich mehr abgebrochen werden als andere. Die rothe Farbe, welche den untern Streifen des Farbenbildes ausmacht, besteht aus Strahlen, welche einen geringeren Grad von Brechung erlitten haben, als diejenigen, welche das Orange bilden; das Orange ist etwas weniger gebrochen als die gelben Strahlen, und so ist die Refraction in den übrigen Farbstrahlen der Reihe nach größer und am größten in den violetten Strahlen, welche daher die Farben des obersten Streifens in dem Farbenbilde ausmachen.

Wenn man dem Farbenbilde der Sonne dadurch, daß man den Lichtstrahl zuerst durch eine Linse ließ, bevor er durch das Prisma gebrochen wird, größere Deutlichkeit gegeben hat, und in der Fläche, auf welcher es empfangen wird, einem der farbigen Streifen gegenüber, eine Öffnung macht: so wird ein kleiner Lichtkegel, ganz dem des Streifens gleich, durchgehen, welcher Lichtkegel, wenn er mittels eines Prisma's auf einer zweiten Fläche empfangen wird, sich nicht weiter zersetzt, sondern ein kreisrundes Bild von gleichförmiger Farbe hervorbringt, welche Farbe dem des Streifens entspricht, wovon er ursprünglich einen Theil ausmachte. Durch ein ähnliches Verfahren kann die entschiedene Brechbarkeit der verschiedenen gefärbten Strahlen weiter ermittelt werden. Zu diesem Zwecke ist weiter nichts erforderlich, als daß man das erste Prisma langsam um seine Achse dreht, wodurch jeder Theil des Farbebildes seine Strahlen nach einander durch die Öffnung in der ersten Auffangefläche

senden, und eine Reihefolge kleiner, kreisrunder Bilder formiren wird, welche verschiedene Höhen zeigen werden; violett wird am stärksten erscheinen, roth am schwächsten und die Zwischenfarben werden mehr oder minder schwach sein, je nachdem sie dem Violett oder Roth näher stehen. So kann eine aufsteigende oder absteigende Aufeinanderfolge von Bildern auf der Wand gebildet werden, je nachdem man das Prisma in der einen oder andern Richtung dreht.

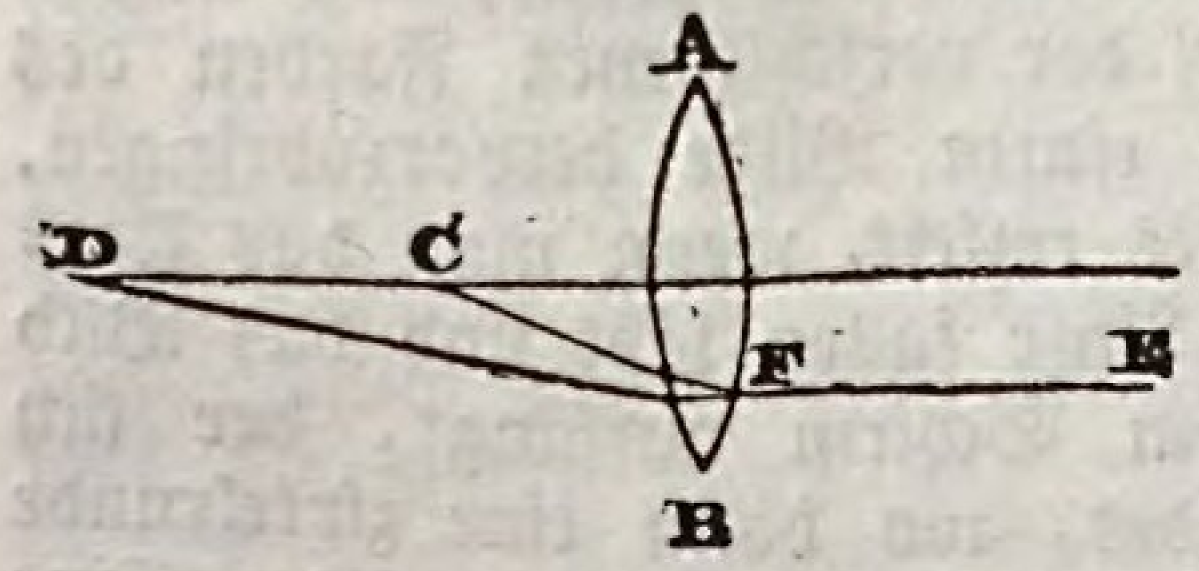
Reflectirte Lichtstrahlen zeigen Eigenschaften, die jener der gebrochenen Lichtstrahlen ähnlich sind. Diejenigen farbigen Lichtstrahlen, die am meisten brechbar sind, sind auch am meisten rückstrahlbar, so daß Violett leichter reflectirt wird als Indigo, Indigo leichter als Blau, und die übrigen Farben nehmen an Reflexionsfähigkeit immer mehr ab, welche das Roth im geringsten Grade besitzt. Diese Ordnung der Reflexionsfähigkeit erklärt in einem gewissen Grade die Azurfarbe des Himmels; denn da die Atmosphäre ein reflectirendes Mittel ist, so werden diejenigen Strahlen, welche der Reflexion am meisten unterliegen, nämlich Violett, Indigo und Blau, am reichlichsten reflectirt, und daher auch die Farbe des unbewölkten Himmelsgewölbes. Einer ähnlichen Ursache ist die blaue Farbe ferner Berge zuzuschreiben.

Sowie die Auflösung des Sonnenlichtes in verschiedene farbige Strahlen auf die beschriebene Art bewerkstelligt werden kann, gibt es auch Methoden, um weißes Licht durch die Vereinigung der verschiedenen Farben des Spectrums der Sonne in einem Bilde hervorzubringen. Am vollständigsten wird dies erzielt, wenn man das Farbenbild durch eine convexe Linse fallen läßt und das Bild auf einer Karte oder einem Schirm auffängt, der sich im Focus der Linse befindet, wo dann eine zirkelrunde Scheibe von weißem Lichte gebildet werden wird. Eine Mischung von sieben Pulvern, gefärbt wie die prismatischen Farben und ihrer Menge nach im Verhältniß zur Breite der verschiedenen correspondirenden Streifen, wird

ein weißliches Gemenge hervorbringen; und sieben gefärbte Oblaten, die in gehörigen Entfernungen auf dem zirkelrunden Rande eines Stückes Pappe befestigt sind, werden, wenn dasselbe um eine im Mittelpunkte befestigte Nadel schnell gedreht wird, ein Rad oder einen Cirkel hervorbringen, dessen Farbe sich mehr oder weniger dem Weiß nähert.

Wenn man, statt alle Strahlen des prismatischen Spectrums mittels einer Linse zu vereinigen, blos gewisse Farbstrahlen vereinigt, indem man mittels eines vorgeschobenen Schirmes die übrigen auffängt, so wird das erzielte Bild nicht aus weißem Lichte, sondern aus besondern Farben bestehen, welche einer der einfachen Farben des Spectrums gleichen. So wird Gelb und Blau Grün, Gelb und Roth Orange, Roth und Blau Violett hervorbringen; aber diese zusammengesetzten Farben unterscheiden sich von den mit ihnen correspondirenden Urfarben dadurch, daß sie in ihre Bestandtheile aufgelöst werden, wenn man sie neuerdings durch ein Prisma fallen läßt. Obschon jedoch gewisse so vereinigte Farben farbige Mischungen geben, gibt es doch andere Farben, die, wenn sie durch eine zweite Durchlassung durch eine convexe Linse vereinigt werden, weißes Licht hervorbringen, und diese heißen Complementarfarben.

Da die gefärbten Strahlen, welche weißes Licht hervorbringen, verschiedene Grade von Brechbarkeit haben, so folgt, daß, wenn ein Lichtkegel EF, auf die Linse AB fällt, die violetten Strahlen, weil sie eine gewissere Brechbarkeit besitzen, schneller zu einem Focus, C, gebracht werden, als die übrigen Strahlen, und daß die rothen Strahlen, welche die geringste Brechbarkeit haben, in einem Focus bei B zusammentreffen, während die zwischenliegenden Strahlen bei relativen Entfernungen zwischen

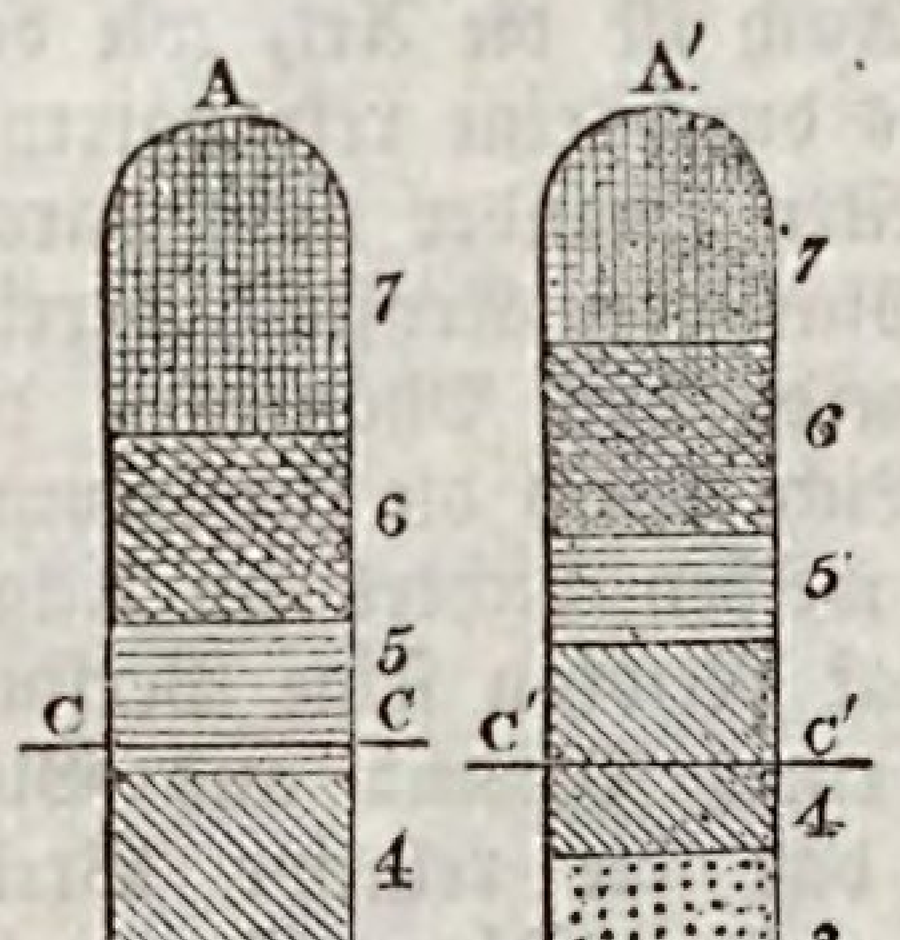


diesen beiden Punkten zusammenstoßen. Daher werden die Bilder, welche im Focus einer Linse formirt werden, von verschiedenen Farben umgeben sein, die einen Regenbogen oder eine Iris bilden. Offenbar werden auch diejenigen Strahlen, die in die Linse in der Nähe ihres Randes eintreten, mehr zerstreut werden als diejenigen, welche in der Nähe ihrer Achse durchgehen. Wenn daher ein Gegenstand durch eine einzige Linse gesehen wird, so werden die Theile, die am fernsten vom Centrum sind, entstellt und, wie bereits bemerkt worden, von einem Strahlenkreise umgeben sein.

Es ist bereits bemerkt worden, daß Lichtstrahlen, die durch verschiedene transparente Mittel gehen, mehr oder weniger gebrochen oder von ihrer ursprünglichen Richtung abgebogen werden, und daß der Grad der Brechung des Lichtes verschieden ist, je nach dem Medium, durch welches es geht. Auch ist die Art, wie das Bild afficirt wird, wenn man es durch eine refrangirende Substanz fallen läßt, deren Seiten einander nicht parallel sind, wie ein Prisma von Glas oder Krystall, bereits beschrieben worden; eben so wurde das Phänomen der Hervorbringung von gefärbtem Licht durch die Zerstreuung oder Analyse der Strahlen des weißen Lichtes im Allgemeinen erläutert. Als Sir Isaak Newton seine Versuche über das Sonnenlicht mittels eines Prisma aus Glas machte, ermittelte er auch, daß die relative Breite der gefärbten Räume in dem prismatischen Spectrum, gesetzt dessen ganze Ausdehnung würde in 360 Grade getheilt, für den rothen Streif 45 sei, für Orange 27, für Gelb 48, für Grün 60, für Blau 60, für Indigo 40, und für das Violette 80. Diese Zahlen sind jedoch keineswegs constant, sondern hängen von der besonderen Beschaffenheit des refrangirenden Körpers ab, dessen man sich bedient, um einen Strahl weißen Lichtes zu zerlegen. Es ist in der That auffallend, daß Newton, obschon er sich im Verlaufe seiner Forschungen Prismen aus verschiedenen Substanzen bediente, dennoch vernach-

lässigte, daß die Zerstreuung oder Divergenz der verschiedenen farbigen Strahlen größer ist, wenn sie durch das eine refrangirende Medium, als wenn sie durch ein anderes hervorgebracht werden. Er schloß daher irriger Weise, daß das Brechungsvermögen und das Zerstreuungsvermögen der Körper stets correspondiren, was jedoch nicht der Fall ist.

Die Wirkungen einer beträchtlichen Anzahl transparenter fester und flüssiger Körper auf Strahlen Sonnenlichts, die durch dieselben gehen, wurden von Sir D. Brewster und andern Naturforschern entwickelt, welche Tafeln des Zerstreuungsvermögens angefertigt haben, woraus sich ergibt, daß das Zerstreuungsvermögen und das Brechungsvermögen der verschiedenen Körper in keinem bestimmten Verhältnisse stehe.



Die Wirkung der Prismen, welche aus verschiedenen refrangirenden Substanzen bestehen, auf einen Strahl weißen Lichtes, läßt sich aus nebenstehender Figur entnehmen. Kassiaöl und Schwefelsäure sind durchsichtige Flüssigkeiten, welche eine sehr große Verschiedenheit des Zerstreuungsvermögens zeigen. Es sei **AB** ein Farbebild, sowie es gebildet würde, wenn man einen Sonnenstrahl durch ein Prisma läßt, dessen Seiten von Glas sind und welches mit Kassiaöl gefüllt ist; **A'B'** dagegen sei ein Farbebild, welches durch ein mit Schwefelsäure gefülltes Glasprisma hervorgebracht wurde. Es wird sich dann zeigen, daß die mindest brechbaren Farben, Roth, Orange und Gelb, welche 1, 2, 3 numerirt sind, einen

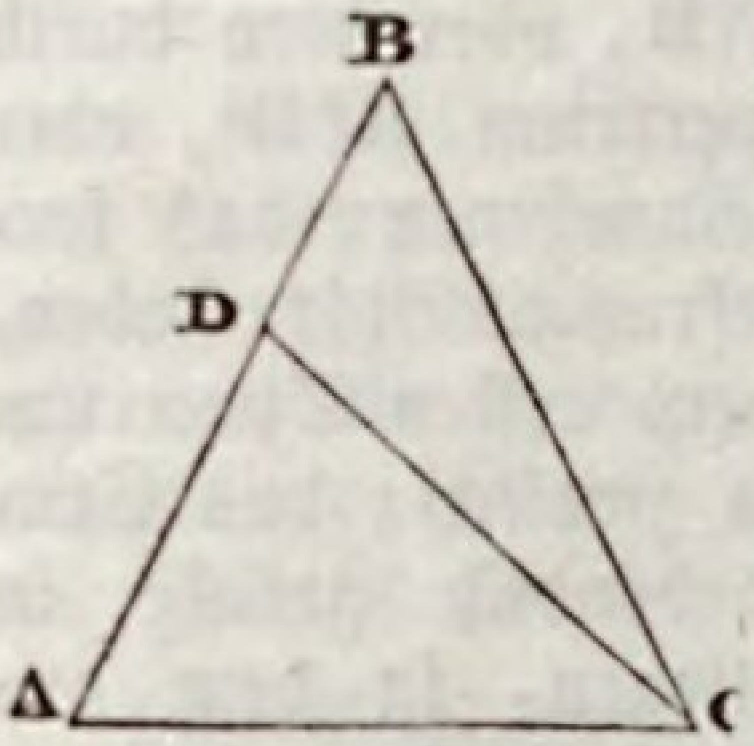
geringeren Raum in dem Spectrum AB, oder dem durch Kassiaöl gebildeten, als in dem Spectrum A′B′, oder dem durch Schwefelsäure gebildeten, einnehmen; daß ferner die Farben, welche die meiste Refrangibilität haben, Blau, Indigo, Violett, 5, 6, 7, in dem ersten Spectrum ausgebreiteter sein werden, als in dem zweiten; das Centrum endlich wird in dem einen Farbenbild gerade in dem blauen Raum in der Linie CC liegen, in dem andern dagegen wird die Mittelpunktslinie den grünen Raum ungleich theilen. Die gefärbten Räume stehen daher zu einander nicht in demselben Verhältnisse wie die Längen der Spectra, und dieser Mangel an Einerleiheit des Verhältnisses heißt die Irrationalität der Zerstreuung oder die Irrationalität der gefärbten Räume im Spectrum.

Von dieser Ungleichheit des Zerstreuungsvermögens hängt der Bau jener optischen Instrumente ab, welche achromatische*) oder aplanatische**) Fernröhre heißen, mittels welcher die farbigen Ränder und andere Mängel der durch eine einzige Linse formirten Bilder entfernt oder gehindert werden, die Deutlichkeit der Wahrnehmung eines Gegenstandes zu schmälern. Das Princip, nach welchem dieses geschieht, besteht darin, daß man refrangirende Substanzen, die verschiedene Zerstreuungskräfte besitzen, auf eine solche Weise combinirt, daß die Abirrung, welche durch die eine Substanz entsteht, durch die entgegengesetzte Wirkung der andern außer Wirksamkeit gesetzt oder neutralisirt werde. Ein

---

*) Von dem Griechischen α privativum und χρῶμα Farbe; also: farblos.

**) Von dem Griechischen α privativum und πλάνη Irrthum, Täuschung; also: irrthumlos, fehlerfrei.



zusammengesetztes Prisma ABC werde aus der Vereinigung der zwei Prisma ACD und DCB, die aus derselben Substanz bestehen, gebildet; wenn nun ein weißer Lichtstrahl darauf fällt, so wird man ein Farbenbild erhalten, dessen Farben weniger deutlich sein werden, als sie gewesen wären, wenn das Prisma ACD allein gebraucht worden wäre, weil das durch das erste Prisma zersetzte Licht, in Folge seines Durchganges durch das zweite Prisma, wieder zum Theil zusammengesetzt wird; ja es würde vollkommen zusammengesetzt worden sein, wenn BC parallel wäre AB, weil dann das zweite Prisma, da es dasselbe Zerstreuungsvermögen hat, als das erste, so gestellt wäre, daß es dessen Wirkung aufhebt. Wenn statt zwei Prismen derselben Art eines, ABC, aus einer Substanz besteht, deren Zerstreuungsvermögen viel stärker ist als die des andern, so werden die Strahlen, welche, indem sie durch das erstere Prisma gingen, zerstreut wurden, wieder durch das zweite gesammelt, wodurch ein achromatisches Prisma hergestellt ist. Wenn das Refractionsvermögen des Prisma DBC dasselbe ist, wie das des Prisma ADC, so wird die Refraction nicht berichtigt werden, wohl aber in einem gewissen Grade, wenn das Brechungsvermögen von DBC das größere ist.

Es ist unmöglich, ein vollkommen achromatisches Prisma herzustellen, weil das Zerstreuungsvermögen der verschiedenen transparenten Substanzen sich in Bezug auf die verschiedentlich gefärbten Strahlen unterscheidet. Aber die Wirkung kann in Bezug auf je zwei Farben hervorgebracht werden; man pflegt daher gewöhnlich die äußersten Enden des Spectrums Roth und Violett zu nehmen.

Wenn, wie Sir Isaak Newton allzuvorschnell schloß, das Zerstreuungsvermögen und das Brechungsvermögen in allen Substanzen sich in demselben Verhältnisse stei-

gerte oder verminderte, so würde die Brechung, wie die Zerstreuung, die durch die eine Substanz bewirkt wird, durch die andere sich aufheben, und die Strahlen würden, wenn sie aus der doppelten Refraction hervorgehen, parallel sein. Es wäre mithin unmöglich gewesen, eine Linse zu achromatisiren; denn wenn eine zusammengesetzte Linse durch Vereinigung eines convexen mit einem concaven Glase gebildet wird, und zwar so, daß die Strahlen, nachdem sie aus demselben hervorgehen, der Farbe beraubt sind, würden sie ihre ursprüngliche parallele Richtung wieder annehmen, d. i. es würde sowol die durch das convexe Glas hervorgebrachte Färbung als Brechung durch das concave zerstört werden, und die Strahlen könnten sich daher in keinem Focus vereinigen. Die Wirkung einzelner convexer Linsen bei Hervorbringung eines undeutlichen Bildes mit einem gefärbten Rande, welche chromatische Abirrung heißt, wird so beschaffen sein, daß „für parallele Strahlen der Kreis der geringsten chromatischen Abirrung, oder der geringsten Färbung, dieselbe absolute Größe hat, die Focallänge der Linse möge welche immer sein, wenn nur die Öffnung dieselbe bleibt. Da nun in einem Teleskop (mit einem gegebenen Augenglase) das Bild im Verhältnisse zur Focallänge des Objectivglases vergrößert wird, so folgt, daß bei Zunahme der Focallänge auch die Größe des Bildes zunimmt, während jene des farbigen Randes dieselbe bleibt; wenn man daher fortfährt, die Focallänge zu vergrößern, so erlangt man ein so sehr vergrößertes Bild, daß die Farbe in einem unwahrnehmbaren Verhältnisse zu demselben steht. So lange daher nur einfache Linsen gebraucht werden, um die Abirrungen zu berichtigen und die gehörige Lichtmenge zu sichern, war es nothwendig, Fernröhre von sehr unlenksamer Länge zu haben. Einige derjenigen, welche Huyghens baute, hatten 100 und 250 Fuß Focallänge*).“ Newton fand sich, nachdem er

---

*) Short Elementary Treatise on Experimental and

zahlreiche Versuche gemacht hatte, dem Refractionstele=skopen größere Tragbarkeit und Wirksamkeit zu geben, getäuscht, weil er eine unrichtige Ansicht von der Übereinstimmung des Zerstreuungs= und Brechungsvermögens der Körper hatte. Er zog daher den Schluß, daß die Vervollkommnung des Refractionsteleskopes eine vergebliche Sache sei*), und widmete von nun an seine ganze Aufmerksamkeit dem Bau von Teleskopen anderer Art, worin die Bilder der Gegenstände durch Reflexion formirt werden**).

Aber das, woran dieser große Mann verzweifelte, ist glücklicher Weise durch Andere vollbracht worden. Das Verdienst der ersten Entdeckung der Methode, ein achromatisches Refractionsteleskop zu fertigen, gebührt dem Herrn Chester More Hall, einem in Essex wohnenden Gentleman, der um das Jahr 1733 mehre achromatische Objectivgläser verfertigte, indem er Linsen aus verschiedenen Arten von Glas, die verschiedene Grade von Zerstreuungsvermögen besaßen, combinirte. Im Jahre 1747 machte Leonhard Euler in den Memoiren der berliner Akademie der Wissenschaften eine Abhandlung über die Verbesserung der Refractionsfernröhre bekannt; dies leitete die Aufmerksamkeit mehrer Naturforscher auf denselben Gegenstand, namentlich Johann Dollond, einen ausgezeichneten Optikus zu London. Nachdem Dollond die Verschiedenheit des Zerstreuungsvermögens der verschiedenen Substanzen hinlänglich ermittelt hatte, daß durch Vereinigung von Kronglas, oder jenes Glas, wovon die Fenstertafeln sind, und Krystallglas, oder jenes,

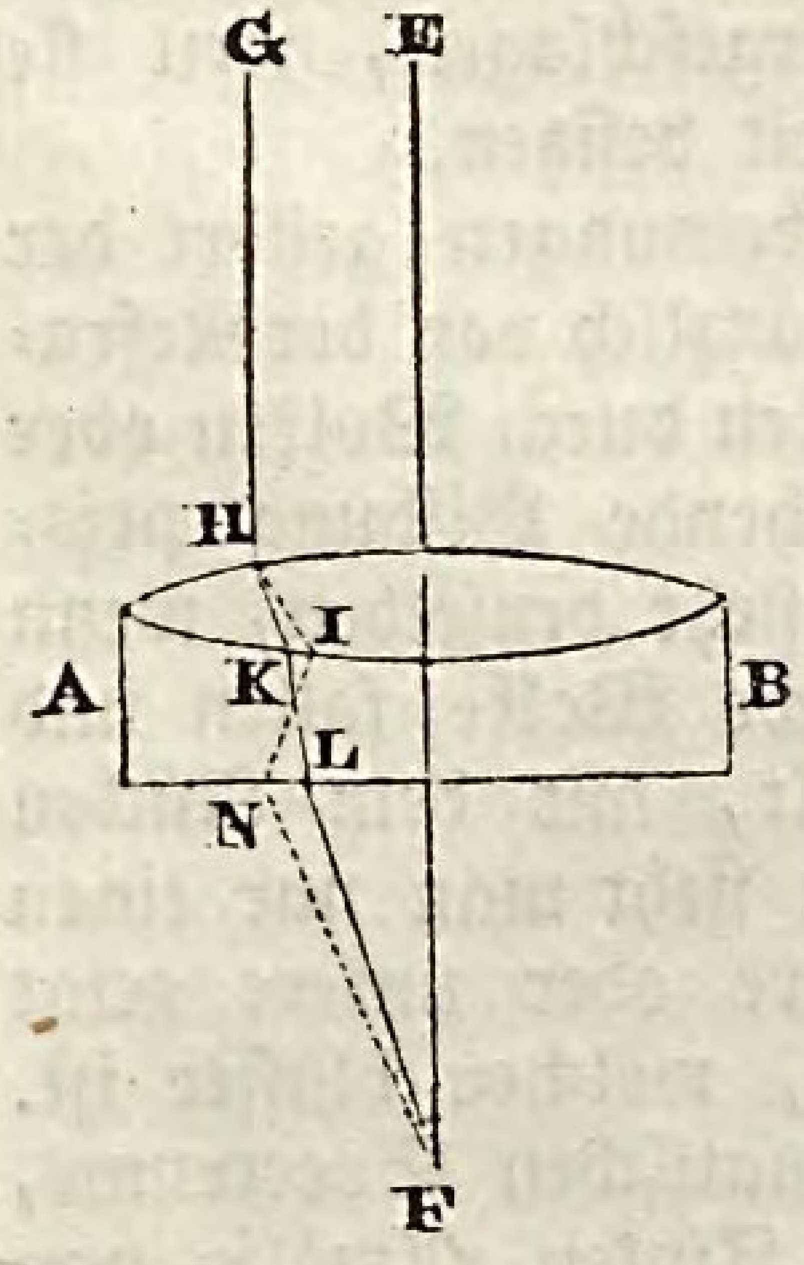
---

Mathematical Optic. By the Reverend Baden Powell, M. A. F. R. S. Oxford, 1833. p. 101.

*) Optics. London 1701. 4. Pars I. Prop. VII. Theor. 6.

**) S. den folgenden Theil dieser Abhandlung: Über die optischen Instrumente.

woraus die geschliffenen Glasgefäße verfertigt werden, eine achromatische Linse hergestellt werden könne. Peter Dollond, der Sohn des genannten Johann Dollond, erfand eine fernere Vervollkommnung, indem er ein Objectivglas aus drei statt aus zwei Linsen fertigte und eine concave Linse von Krystallglas zwischen zwei converen Linsen von Kronglas einschloß. Man pflegt jedoch jetzt gewöhnlich nur zwei Linsen zu nehmen, eine, auf der einen Seite concav von Krystallglas, und eine doppelconvexe Linse von Kronglas. Diese Gläser haben einen verschiedenen Grad von Krümmung und sind so formirt, daß nach der Refraction die rothen und violetten Strahlen auf demselben Punkte vereinigt werden; auch die dazwischen liegenden Strahlen werden fast auf demselben Punkte vereint, da es unmöglich ist, alle Strahlen, wie schon erwähnt worden, genau in einem Punkte zu vereinigen, obschon man sie einander hinreichend nahe bringen kann, um die gewöhnliche Wirkung der achromatischen Abirrung zu verhindern.



AB sei eine zusammengesetzte Linse; der Strahl EF, der durch ihren Mittelpunkt geht, wird keine Veränderung erleiden; der Strahl GH dagegen, der seitwärts vom Centrum einfällt, wird getheilt, und der violette Strahl, weil er den höchsten Grad von Refraction besitzt, wird durch die convexe Linse in der Linie HI, der rothe Strahl dagegen in der Linie HK gehen. Die concave Linse von Krystallglas wird bewirken, daß beide diese Strahlen von der Achse EF divergiren, der rothe in der Richtung KL, der violette in der Richtung IN; und indem sie wieder durch die Luft zum Focus gehen, wird der rothe Strahl die Richtung LF, der violette die Richtung NF nehmen, folg=

lich werden sie in dem Punkte F wieder vereinigt werden.

So construirte achromatische Linsen sind fortwährend der Unvollkommenheit unterworfen, folglich hat man mehre Versuche gemacht, sie zu verbessern, die auch in der That einen beträchtlichen Grad von Erfolg gehabt haben. Dr. Robert Blair von Edinburg verfiel zwischen den Jahren 1787 und 1790 auf den Gedanken, durchsichtige Flüssigkeiten bei der Verfertigung zusammengesetzter Linsen anzuwenden und es gelang ihm zuletzt, indem er gehörig zubereitete Salzsäure zwischen Glaslinsen einschloß, ein Objectivglas zu fertigen, wodurch alle die verschiedenen farbigen Strahlen von ihrem rechtlinigen Laufe mit derselben Gleichheit und Regelmäßigkeit abgebogen wurden, wie durch Reflexion. Andere praktische Physiker haben sich mit ähnlichen Forschungen beschäftigt, insbesondere Herr Barlow aus Woolwich, dessen Bemühungen von hohem Erfolge begleitet waren *). Für die so gefertigten Instrumente hat man die Benennung aplanatisch oder fehlerfrei vorgeschlagen, weil sie den möglichsten Grad von Genauigkeit besitzen.

Zu den interessantesten Naturerscheinungen gehört der Regenbogen, dessen Hervorbringung gänzlich von der Refraction und Reflexion der Sonnenstrahlen durch Wolken oder Regentropfen, und die daraus entstehende Bildung prismatischer Farben abhängt. Man sieht denselben, wenn die Sonnenstrahlen auf eine regnende Wolke fallen und der Beschauer sich ihr gegenüberstellt, mit dem Rücken gegen die Sonne gewendet. Zuweilen sieht man nur einen Bogen, gewöhnlicher zwei; der innere oder untere zeigt glänzendere Farben als der andere, welcher blässer ist. Beide entfalten die Farben des prismatischen Spectrums, aber im innern Bogen steigen die Tinten allmälig von

---

*) S. Philosophical Transactions for 1828; oder Abstract of Papers, in d. Philos. Transact. vol. II. p. 333, 334.

Violett zum Roth empor, während in dem äußeren Bogen das Violett am höchsten steht. Einige Schriftsteller erwähnen auch eines dritten Bogens, der beobachtet worden wäre, jedoch sieht man ihn selten; nach der Theorie zwar müssen viele Bögen gebildet werden, müssen aber alle, mit Ausnahme des zweiten, in der Regel vollkommen unwahrnehmbar sein.

Die Farben des Regenbogens sind das Ergebniß der Zersetzung weißen Lichtes in seinem Durchgange durch die kugelförmigen Wassertropfen, welche den Regen bilden. Jeder gefärbte Strahl, der durch diese Zersetzung hervorgebracht wird, geht durch die Kugel und wird von einem Theil der entgegengesetzten concaven Oberfläche reflectirt; er geht dann wieder durch die Kugel in einer neuen Richtung und zwar gegen den Beschauer. Allein nur ein Theil dringt heraus, der andere Theil dagegen wird abermals reflectirt und in das Innere der Kugel zurückgeführt. Auf diese Weise entstehen eine Menge aufeinander folgender Reflexionen, bei deren jeder etwas Licht entweicht, aber die Intensität desselben wird mit der Zahl der Reflexionen immer schwächer. Von jenen Strahlen, welche zuerst aus dem Tropfen an der dem Zuschauer zugewendeten Seite hervordringen, wird die Wirkung hervorgebracht. Die Strahlen, welche aus dem Kügelchen hervordringen, nachdem sie ein oder mehrere Reflexionen erlitten haben, bilden mit ihrer ursprünglichen Richtung einen gewissen Winkel. Dieser Winkel ist beständig (constant) für alle Strahlen derselben Natur, welche zu demselben Einfallswinkel in die Kugel dringen und innerhalb derselben die gleiche Anzahl von Reflexionen erleiden; er wechselt aber in jenen Strahlen, deren Einfallswinkel verschieden sind, und die eine höhere oder geringere Anzahl von Reflexionen erleiden. Aus Berechnung ergibt sich, daß in einer Reihe paralleler Strahlen derselben Natur, welche auf eine Kugel fallen und in ihr nur eine Reflexion erleiden, der Winkel nacheinander von dem normalen oder geraden Strahl,

wo es keinen Winkel gibt, bis zu einer gewissen Grenze vermehrt wird, jenseit welcher er abnimmt, bis der Strahl ein Tangent der Sphäre oder Kugel wird. Innerhalb dieser Grenzen werden daher die parallelen Strahlen, welche in die Kugel dringen und in ihr nicht sehr ungleiche Abweichungen erleiden, nach dem Herausdringen aus derselben ziemlich parallel sein; daher wird auch das Auge, welches sich in der Richtung eines solchen Bündels von Strahlen befindet, einen hinreichend lebhaften Eindruck von Farben erhalten, während es anderswo nur vereinzelte Strahlen trifft, die hervorgebrachte Empfindung mithin höchst unbeträchtlich sein muß. Diejenigen Strahlen, welche aus der Kugel so hervordringen, daß sie einen kleinen Lichtkegel bilden, der einen wahrnehmbaren Eindruck hervorzubringen fähig ist, heißen wirksame Strahlen.

Ebenso verhält es sich mit den Strahlen, die zwei Reflexionen oder eine größere Anzahl innerhalb der Kugel erleiden. Es wird stets gewisse Grenzen geben, innerhalb welcher mehre parallele Strahlen, die sich nahe beieinander befinden, indem sie aus der Kugel hervordringen und ziemlich parallel bleiben, einen deutlichen Eindruck auf das Auge hervorbringen. Diese Grenzen sind nicht dieselben für alle Arten von farbigen Strahlen, sondern ändern sich nach ihrem Brechungsvermögen. So bilden die rothen Strahlen, die das geringste Brechungsvermögen besitzen, wenn der Strahl nach einer Reflexion entweicht, mit dem Einfallsstrahle einen Winkel von 42° 2′; dieser Winkel wird für die übrigen farbigen Strahlen allmählig kleiner und beträgt für die violetten, die das meiste Brechungsvermögen besitzen, 40° 17′. Wenn der herausdringende Strahl im Innern der Kugel zwei Reflexionen erlitten hat, so wird die Grenze im Fall der rothen Strahlen zu einem Winkel von 50° 55′ und im Fall der violetten zu einem Winkel von 54° 9′ sein.

Die Bildung der farbigen Streifen des Regenbogens

läßt sich so erklären. Die Sonne als einfacher leuchtender Punkt in unendlicher Entfernung betrachtet entsendet dem Regenschauer ein Bündel von Strahlen, wovon jedes Wasserkügelchen mehrere empfängt. Es fallen daher auf jedes der Kügelchen mehre wirksame Strahlen, welche zu den Beobachtern auf verschiedenen Punkten dringen. Der erste farbige Strahl, der zu einem Beobachter nach einer einzigen Reflexion innerhalb der Kugel kommen kann, wird derjenige sein, welcher mit seiner ursprünglichen Richtung den kleinsten Winkel bildet, mithin der violette Strahl, dessen Winkel 40° 17′ beträgt. Alle Kügelchen, die sich in demselben Kreise, auf dessen Mittelpunkt die Achse des Strahlenbündels auffällt, werden dieselbe Empfindung hervorbringen, folglich die erste farbige Linie bilden. Die wirksamen rothen Strahlen, die mit ihrer ursprünglichen Richtung einen Winkel von 42° 2′ bilden, werden die letzten oder höchsten Linien des ersten Bogens formiren, und zwischen diesen Extremen werden sich die fünf andern Farben des prismatischen Spectrums in der Ordnung ihrer Refrangibilität befinden. Dies ist die Art, wie sich der erste oder Hauptbogen bildet; seine Dimensionen sind dem Unterschiede zwischen 40° 17′ und 42° 2′ und mithin 1° 45′ gleich.

Jenseit der rothen Strahlen wird der Beobachter nur diejenigen gewahren, welche zwei Reflexionen erlitten haben; ihre Intensität wird daher schwächer sein. Der erste Strahl wird in diesem Falle der rothe sein, welcher den kleinsten Winkel, 50° 59′, bildet und den Anfang eines zweiten Bogens macht, in einer Entfernung von dem ersten, die dem Unterschiede zwischen 42° 2′ und 50° 59′ entspricht, mithin 8° 57′ gleich ist. Die höchste oder letzte Linie des zweiten Bogens wird das Violett sein, dessen Strahlen mit ihrer ursprünglichen Richtung einen Winkel von 54° 9′ bilden werden, und zwischen diesen Extremen findet man die andern Farben. Die Dimensionen des zweiten Bogens werden sein 54° 9′ — 50° 59′ = 30° 10′.

Aus dem Vorhergehenden läßt sich leicht entnehmen, wie drei oder mehrere Bogen durch auf einander folgende Reflexionen gebildet werden können, und warum sie zu schwach sein müssen, um gesehen werden zu können *). Wir haben die Sonne als einen leuchtenden Punkt angenommen, wodurch nur eine Cirkellinie von jeder Farbe hervorgebracht werden würde; da jedoch die Sonne einen

*) Unter besondern Umständen können durch die Brechung der Sonnenstrahlen auch mehr als zwei deutliche sichtbare Regenbogen oder vielmehr regenbogenfarbige Kreise gebildet werden. Aus der „Histoire Géneral des Voyages" erzählt Prof. Winkler folgende Erscheinung, welche die französischen und spanischen Naturforscher erlebten, die im vorigen Jahrhundert verwendet wurden, um einen Bogen des Meridian in Peru zu messen. „Als Don Antonio de Ulloa sich mit den französischen Akademikern auf dem hohen und kahlen Berge Pambamarka im Königreiche Quito befand, sah jeder von ihnen sein eigenes Bild, der Sonnenaufgangsseite gegenüber, wie in einem Spiegel, und das Haupt eines jeden Bildes war mit drei Regenbogen umgeben, die sämmtlich einen und denselben Mittelpunkt hatten. Die letzten oder äußersten Farben des einen Regenbogens berührten die ersten des folgenden. Und außen rings um alle drei Kreise sah man einen vierten Bogen, der jedoch nur die weiße Farbe zeigte. Wenn sich eine der Personen nach einer oder der andern Seite bewegte, folgte ihm die Erscheinung in gleicher Form und Ordnung. Und obschon der Beobachter sechs an der Zahl waren und sie dicht nebeneinander standen, konnte doch jeder nur sein eigenes Bild und nicht das der Andern sehen. Da die Gestalten ihrer Körper sich in dem Mittelraum des umgebenden Regenbogens abgebildet fanden, müssen die Dünste dieses Raumes so beschaffen gewesen sein, daß die auffallenden und reflectirten Strahlen gleiche Winkel bildeten." Elem. of Nat. Philos. Delie. Vol. II. pp. 63, 64.

wahrnehmbaren Diameter hat, so folgt, daß jeder Streifen der Bögen gewisse Dimensionen haben muß, die von dem scheinbaren Durchmesser der Sonne abhängen.

Es gibt auch zuweilen Mondregenbögen, aber in den meisten Fällen sind sie schwach und farblos wegen der geringen Intensität des reflectirten Mondlichtes. Auch farbige Höfe sieht man manchmal, sie gehören aber zu den ungewöhnlichen meteorologischen Erscheinungen. Wolken von seltenen, z. B. grünen Farben, sind auch zuweilen gesehen worden, und lassen sich auf dieselben Ursachen zurückführen wie der häufiger vorkommende und schönere Regenbogen.

Optische Instrumente.

Es gibt zwei Hauptarten von optischen Instrumenten; nämlich solche, welche man mit Recht dioptrische nennen kann, weil sie aus einer oder mehren Linsen bestehen und ihre Wirkungen von der Refraction des Lichtes abhängen, und solchen, welche katoptrische heißen, bei deren Verfertigung Linsen und Spiegel combinirt werden; Fernröhre der letztern Art nennt man Spiegelfernröhre, um sie von andern Fernröhren zu unterscheiden, deren Wirkung von der Refraction allein abhängt. Die Vollkommenheit dieser Instrumente besteht in der Trefflichkeit der Linsen und Spiegel, aus welchen sie gefertigt sind, und in der Genauigkeit ihrer Anordnung, sodaß die Achsen der bezüglichen Gläser in einer geraden Linie liegen. Sie müssen hintereinander in Entfernungen angebracht sein, welche mit Bezug auf ihre verschiedenen Brennpunkte oder Focusse genau berechnet sind. Auch das Auge muß sich an einem genau bestimmten Beobachtungspunkte befinden. Diejenige Linse in einem Teleskop oder Mikroskop, welche dem Beobachter am nächsten ist, heißt das Augenglas; und

die Linse oder der Spiegel, der dem zu besehenden Gegenstande zugewendet ist, das Objectivglas. Das Augenglas ist gewöhnlich in einem Rohre befestigt und so angeordnet, daß dessen Entfernung vom Objectivglase, je nach Beschaffenheit der Umstände verändert werden kann.

Brillen.

Der Gebrauch von converen oder gemeinen Brillen, oder wenigstens von einfachen converen Gläsern, um dem Auge beizustehen, muß mit der Entdeckung der Vergrößerungskraft der converen Linsen gleichzeitig gewesen sein. Die Erfindung der Brillen ist von Einigen dem Alessandro Spina, einem Italiener, der 1313 starb, zugeschrieben worden *), nach Andern war ein florentinischer Edelmann, Namens Arnato Salvini, der 1317 starb **) ihr Erfinder. Aus diesen Angaben läßt sich nicht mit Unwahrscheinlichkeit schließen, daß die Art, zwei convexe Linsen in einen Rahmen zu bringen, sodaß sie ein Paar Brillen bilden, gegen den Schluß des 13. Jahrhunderts erfunden wurde. Die vergrößernde Eigenschaft der converen Linsen oder ähnlicher durchsichtiger Körper war jedoch zuverlässig schon in einer frühern Zeit bekannt, obschon wir nicht genau wissen, auf welche Art sie gebraucht wurden. In Roger Bacon's Abhandlung über die „Geheimen Werke der Kunst und Natur" befindet sich folgende merkwürdige Stelle: „Durchsichtige Körper können so gestaltet werden, daß ein Ding so aussieht, wie viele Dinge und ein Mensch wie ein Heer, und daß mehre Sonnen und Monde nach Belieben sichtbar gemacht werden. . . . . . So können auch Gegenstände, die weit von uns entfernt sind, näher gebracht werden,

*) S. Redi epistola ad Falconerium.
**) S. Acta Lipsiensia, Anno 1740.

und umgekehrt; sodaß man aus einer unglaublichen Entfernung sehr kleine Buchstaben lesen, die Zahl beisammen befindlicher Dinge, ob sie auch noch so klein wären, unterscheiden und die Sterne erscheinen lassen kann, wenn man will *). So glaubt man, daß Julius Cäsar von den Meeresküsten von Gallien mittels sehr großer Gläser (specula) die Anordnung und Lage der Lager und Städte von Großbritannien beobachtete **)." Dieser berühmte Schriftsteller drückt sich über die Brechung des Lichtes in seinem „Opus Magus" so aus: „Größere Dinge als diese können durch das refrangirte Sehen vollbracht werden. Denn es ist aus den vorerwähnten Sätzen leicht einzusehen, daß die größten Dinge außerordentlich klein erscheinen können, und umgekehrt. Denn wir können den durchsichtigen Körpern solche Gestalten geben und sie in solcher Ordnung in Bezug auf das Auge und die Gegenstände anbringen, daß die Strahlen nach jedem uns beliebigen Platze gebrochen und abgebogen werden können, sodaß wir den Gegenstand sehr nahe oder in der Entfernung unter jedem Winkel, der uns beliebt, sehen können; wir vermögen so aus einer unglaublichen Entfernung die kleinste Schrift zu lesen, die kleinsten Sand- und Staubtheilchen zu zählen, wegen der Größe des Winkels, unter welchem wir sie sehen können; im Gegentheile sind wir nicht im Stande, die größten Körper dicht vor uns zu sehen, wegen der Kleinheit des Winkels, unter welchem sie erscheinen können. Denn die Entfernung afficirt diese Art von Sehen nicht außer zufällig, wol aber thut es die Größe des Win-

---

*) Dies deutet unfehlbar auf ein Fernrohr oder ein ähnliches Instrument, wodurch man die Sterne bei hellem Tageslicht erblicken kann.

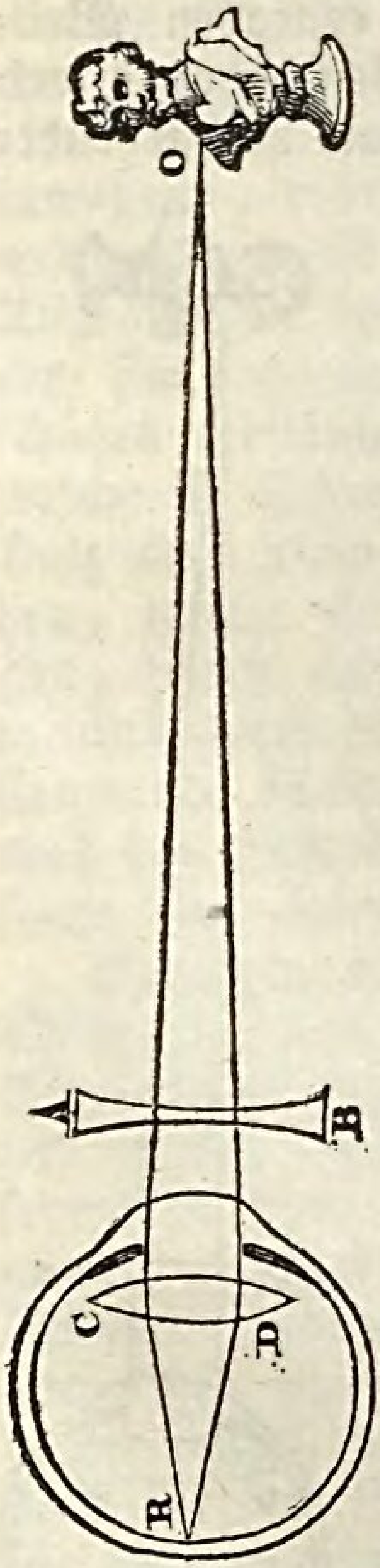
**) Epist. Fr. R. Bacon. De secretis Operibus Artis et Naturae et de Nullitate Magiae. Hamburg. 1572. Cap. 5. De Experientiis Perspectivis Artificialibus.

kels. Ein Knabe kann uns daher als ein Riese und ein Mann so groß wie ein Berg erscheinen, weil wir einen Mann unter einem eben so großen Winkel, wie einen Berg und so nahe als wir wollen sehen können. Und so kann ein kleines Heer wie ein sehr großes und obschon sehr weit entfernt uns doch nahe erscheinen, und umgekehrt. So kann man auch Sonne, Mond und Sterne dem Anschein nach niedersteigen und über den Häuptern der Feinde sichtbar machen, und viele Dinge ähnlicher Natur bewerkstelligen, welche unwissende Personen in Erstaunen setzen würden."

Aus der Art, wie Bacon in den citirten Stellen von den Wirkungen refrangirender Substanzen in Modificirung des Sehvermögens spricht, läßt sich kaum zweifeln, daß wenigstens einzelne Linsen zuweilen und zu andern Zwecken als zu bloßer Belustigung gebraucht worden sind; wenn gleich der allgemeine Gebrauch der Brillen, um den Sehorganen alter oder anderer Personen zu Hülfe zu kommen, aus dem Anfange des 14. Jahrhunderts datirt werden mag.

Es gibt zwei Arten von Brillen, nämlich Brillen mit convexen Gläsern, welche die Gegenstände vergrößern oder die Bilder dem Auge näher bringen, und Brillen mit concaven Gläsern, welche den scheinbaren Umfang der Gegenstände vermindern oder die Grenzen des deutlichen Sehens ausdehnen. In alten Personen wird die durchsichtige Hornhaut platter als in der Jugend, und wahrscheinlich erleidet auch die Krystalllinse eine ähnliche Veränderung, woraus folgt, daß die Strahlen, welche von den Gegenständen kommen, in keinem Focus so convergiren, daß sie ein deutliches Bild formiren, außer sie befinden sich in einer beträchtlichen Entfernung vom Auge. Dies erklärt, warum alte Leute, wenn sie einen kleinern Gegenstand ohne Brillen untersuchen wollen, genöthigt sind, das Buch, den Brief u. s. w. in etwa armslanger Entfernung zu halten. Solche langsichtige Individuen

kann man Presbytes*) nennen. Die Art, wie ihnen convexe Gläser beistehen, erklärt die nachstehende Figur.



Es sei CD die Krystallinse, AB die Linse einer Brille; dann wird der Gegenstand O, der etwa sechs Zoll vom Auge entfernt ist, ein vollständiges Bild auf der Netzhaut bei R hervorbringen. Wenn jedoch die convexe Linse weggenommen wird, so wird zur selben Entfernung der Gegenstand undeutlich sein, und um eine gehörige Ansicht davon zu erhalten, muß man ihn vielleicht 3 bis 4mal soweit entfernen und wenn er sehr klein ist, wird das Auge ohne Beistand ihn in keiner Entfernung unterscheiden können.

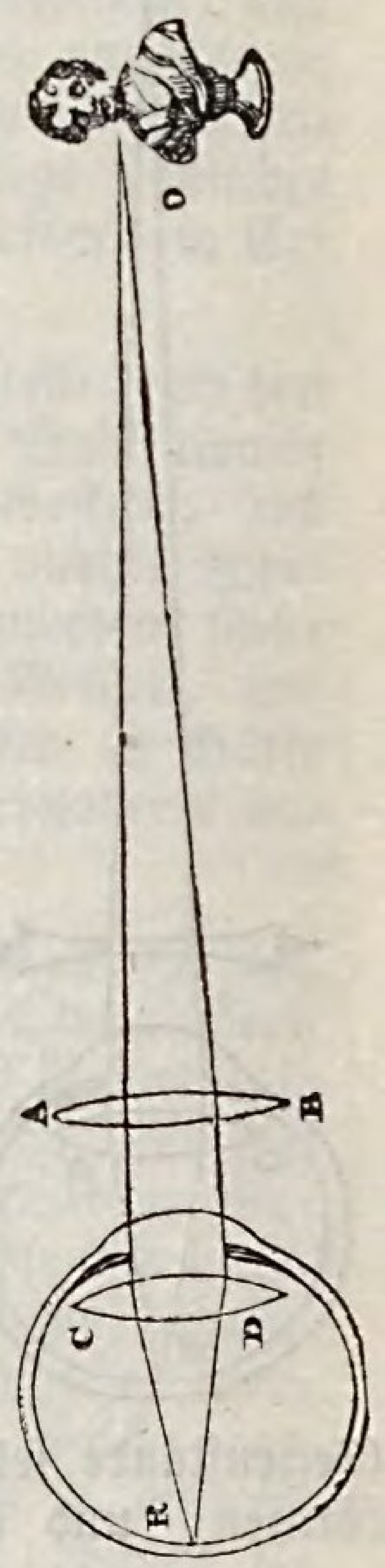
Die sogenannten kurzsichtigen Personen haben eine ungewöhnlich hervorragende durchsichtige Hornhaut, folglich convergiren die Strahlen, welche von den Gegenständen in ihre Augen dringen, zu einem Focus eher, als sie die Retina erreichen, außer ein solcher Gegenstand wird dem Auge sehr nahe gebracht**). Wo diese Eigenthümlichkeit des Sehens nur in einem geringen Grade vorhanden ist, kann sie eher als ein Vortheil betrachtet werden, da die so begabten Individuen mit einer Art mikroskopischem Gesichte versehen sind; sie können daher kleinere Gegenstände sehen, als gewöhnlich Andere unterscheiden können, und brauchen dieselben blos dem Auge etwas

---

*) Von πρέσβυς der alte Mann.

**) Kurzsichtige Personen nennt man Myopes, von μύω, ich blinzle, schließe die Augenlieder halb, und ὤψ, das Auge.

näher zu halten. Ferne Gegenstände können jedoch nur undeutlich gesehen werden und hieraus ergibt sich der Nutzen, welchen solche Personen aus concaven Brillengläsern ziehen. Die Natur des Beistandes, welchen solche Gläser leisten, ergibt sich aus nachstehender Zeichnung.



Es sei C D die Krystalllinse; indem nun die Strahlen von dem Gegenstande B durch das concave Glas A B gehen, werden sie etwas divergiren, sodaß die Wirkung der zu sehr gewölbten durchsichtigen Hornhaut etwas vermindert und ein vollständiges Bild auf der Netzhaut bei R gebildet wird. Wird jedoch das concave Glas hinweggenommen, so werden die Strahlen einen Focus bilden, bevor sie die Netzhaut erreichen, und dann wieder divergiren, sodaß das Bild undeutlich wird.

Gewöhnliche Brillen und Lesegläser, besonders wenn sie beträchtlich vergrößern, haben den Übelstand, daß sie die Gegenstände, welche man nicht durch den Mittelpunkt der Linse sieht, mehr oder weniger entstellen. Denn da die Strahlen, welche von fernen Gegenständen ausgehen und durch die Ränder der Linse das Auge erreichen, schief auffallen, werden sie mehr gebrochen als die übrigen Strahlen und die Bilder werden daher undeutlich. Um diesem Übelstande abzuhelfen, schlug Dr. Wollaston vor, concav-convexe Linsen zu verwenden, so jedoch, daß die concaven Seiten dem Auge zugekehrt sind. Brillen dieser Art heißen periskopische *) Bril-

*) Von περὶ, um, und σκοπέω, ich sehe.

len, und wenn sie genau gemacht und dem Grade von Langsichtigkeit, dem sie abhelfen sollen, angepaßt sind, so werden sie viel bessere Dienste leisten als die gewöhnlichen mit biconvexen Gläsern.

Die Eskimos, welche ein mit Schnee bedecktes Land bewohnen, würden einer Schwäche des Gesichtes unterworfen sein, die an Blindheit grenzt, wenn sie nicht ihre Augen gegen den Reiz des von allen Gegenständen rings um sie ausgestrahlten blendenden weißen Lichtes zu beschützen verständen. Sie machen eine Art von Brillen, welche sie Schneeaugen nennen, die aus kleinen Stücken Holz oder Bein mit einem Schnitt in der Mitte, bestehen, welche sie mittels Schnüren um den Kopf befestigen, sodaß kein Licht die Augen erreichen kann, außer welches durch diese Öffnung eindringt. Diese rohen Instrumente schützen die Augen nicht blos vor dem Übermaß des Lichtes, sondern setzen sie auch in den Stand, ferne Gegenstände leichter zu erkennen.

Personen, deren Augen so geschwächt sind, daß ihnen Brillen beinahe nutzlos werden, mögen mit Vortheil die Gegenstände durch lange kegelförmige Röhren ohne Gläser sehen, welche Röhren an dem von dem Auge entferntesten Ende, nur eine schmale Öffnung haben und inwendig geschwärzt sind. Solche Röhren können in einen Rahmen gebracht und wie Brillen getragen werden; auch kann man sie brauchbarer machen, indem man sie so verfertigt, daß sie nach Belieben verlängert und verkürzt werden können und man die Öffnung nach Willkür zu erweitern oder zu vermindern im Stande ist.

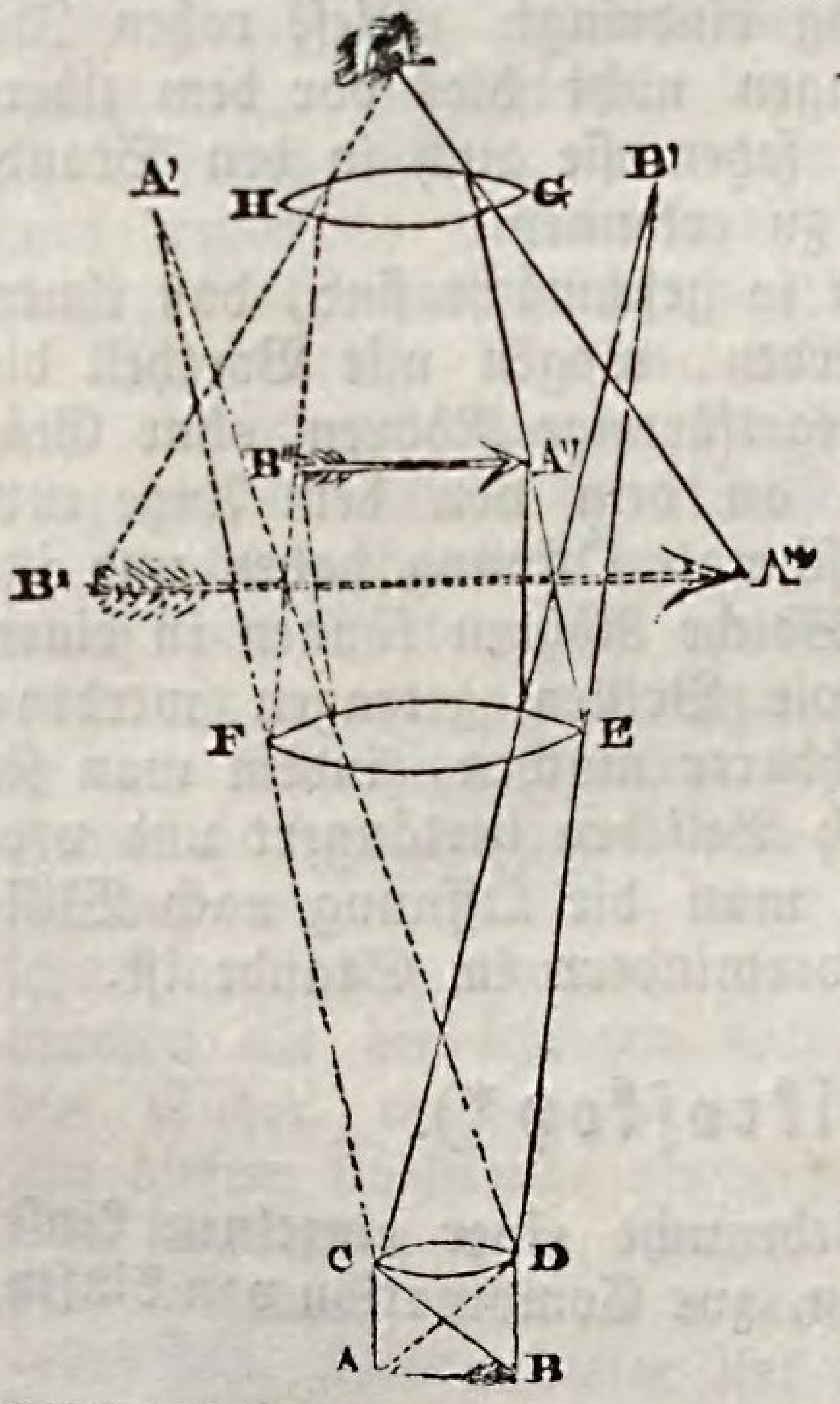
Das Mikroskop*).

Der Übergang vom Gebrauche einer einzelnen Linse, um das Auge zu unterstützen, zur Combination von Linsen,

*) Von μικρὸς, klein und σκοπέω, ich sehe.

um kleinere Gegenstände zu sehen, mag als keineswegs schwierig betrachtet werden; dennoch vergingen drei Jahrhunderte zwischen der Erfindung der Brillen und jener des Mikroskops. Huygens schreibt die Erfindung des Mikroskops dem Cornelius Drebbel um das Jahr 1621 zu *); Andere nennen den berühmten Galilei oder den Neapolitaner F. Fontana als Erfinder, und es ist sehr wahrscheinlich, daß mehren mit wissenschaftlichen Forschungen beschäftigten Personen sich die Idee dazu zur selben Zeit aufgedrungen habe.

Das einfache Mikroskop ist blos eine einzige Linse von sehr bedeutendem Vergrößerungsvermögen. Es kann aus einer Glaskugel bestehen, die gebildet wird, wenn man ein kleines Stück Krystallglas mittels eines am Ende verflochtenen Eisendrahtes über die Flamme einer Spirituslampe hält, und es, sobald es in flüssigen Zustand gerathen, auf einen bereit gehaltenen Bogen Papier fallen läßt, worauf man das Kügelchen in einen kleinen Rahmen von Messing oder Platina befestigt. Ein solches Mikroskop hat natürlich eine sehr geringe Brennweite und kann daher nur zur Untersuchung sehr kleiner Gegenstände gebraucht werden.



Das zusammengesetzte Mikroskop muß aus zwei oder mehren convexen Lin=

*) Huygens Dioptrica, p. 221.

sen bestehen. Das Objectivglas ist eine kleine Linse mit einem sehr kurzen Focus, und es können eines oder mehre Augengläser vorhanden sein. Zu den gewöhnlichsten Formen dieses Mikroskopes gehört das mit drei Gläsern; man hat jedoch, um das Instrument zu vervollkommnen, sowol zu den Augen-, wie zu den Objectivgläsern zwei oder mehre Linsen angewendet.

Die Wirkung des zusammengesetzten Mikroskops läßt sich aus vorstehender Figur einsehen. Es sei AB der Gegenstand etwas unter dem Objectivglas CD; dann werden die Strahlen, welche von dem Gegenstande ausgehen, ein Bild bei A′B′ formiren; die Linse EF vermindert jedoch die Convergenz dieser Strahlen, woraus folgt, daß das Bild bei A″B″ formirt wird. Dieses letztere Bild ist der unmittelbare Gegenstand des Sehens, und da das Auge deshalb durch die Linse GH blickt, wird es bei A‴B‴ sehr vergrößert gesehen.

Das Teleskop *).

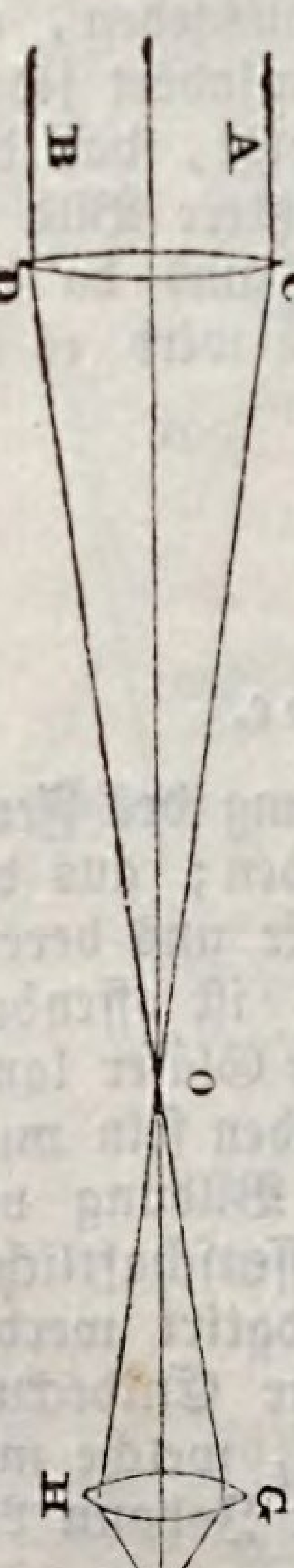
1. Refractions-Teleskope.

Gewöhnlich wird angeführt, die Erfindung des Fernrohrs sei um das Jahr 1590 gemacht worden; aus den Schriften Roger Bacon's jedoch, auf die wir uns bereits bezogen haben, sowie aus andern Quellen, ist offenbar, daß die Wirkung der Combination optischer Gläser lange vor dieser Zeit durch Versuche ermittelt worden sein muß, wenn gleich die Anwendung derselben zur Bildung von Fernröhren und ihrer Verwendung zu wissenschaftlichen Zwecken meist von der angegebenen Zeit datirt werden können. Man glaubt, daß der Zufall zur Entdeckung dieses wichtigen Instrumentes geführt habe, welche man verschiedentlich dem Zacharias Jansen oder Johann Lip-

*) Von τῆλε, fern, und σκοπέω.

persheim zuschreibt, welche holländische Brillenmacher waren. Die an diesen Perspectiven, wie sie genannt wurden, vorgenommenen Verbesserungen von Galilei, Giovanni Battista Porta, Simon Marius und Andern erklären, daß dieselben zuweilen als Erfinder des Teleskops dargestellt werden.

Die einfachste Art des Refractions- oder dioptrischen Fernrohrs ist das astronomische Fernrohr. Es besteht aus zwei convexen Linsen, einem Objectivglas und einem Augenglas, deren Focusse in derselben Achse liegen.



Es seien A B die Strahlen von einem entfernten Gegenstande, z. B. einem Sterne, dann wird das durch das Objectivglas CD formirte und durch das Augenglas GH gesehene Bild seinen scheinbaren Diameter nach Verhältniß vergrößert haben. Gesetzt, das Vergrößerungsvermögen des Objectivglases sei 10, und jenes des Augenglases 6, so wird der Gegenstand $6 \times 10 = 60$mal vergrößert sein. Das durch ein solches Fernrohr formirte Bild wird in Bezug auf den Gegenstand umgekehrt sein; da es jedoch nur zur Beobachtung von Himmelskörpern verwendet wird, hat dieser Übelstand keine Erheblichkeit.

Das von Rheita erfundene, für Gegenstände auf der Erde gebrauchte Fernrohr unterscheidet sich von dem vorhergehenden dadurch, daß es zwei Augengläser mehr, folglich in Allem vier Gläser hat. Dadurch erscheinen die Bilder der Gegenstände aufrecht.

Die Wirkung gewöhnlicher Linsen in Hervorbringung sphärischer und chromatischer Abirrung und die daraus folgende Unvollkommenheit der eben beschriebenen

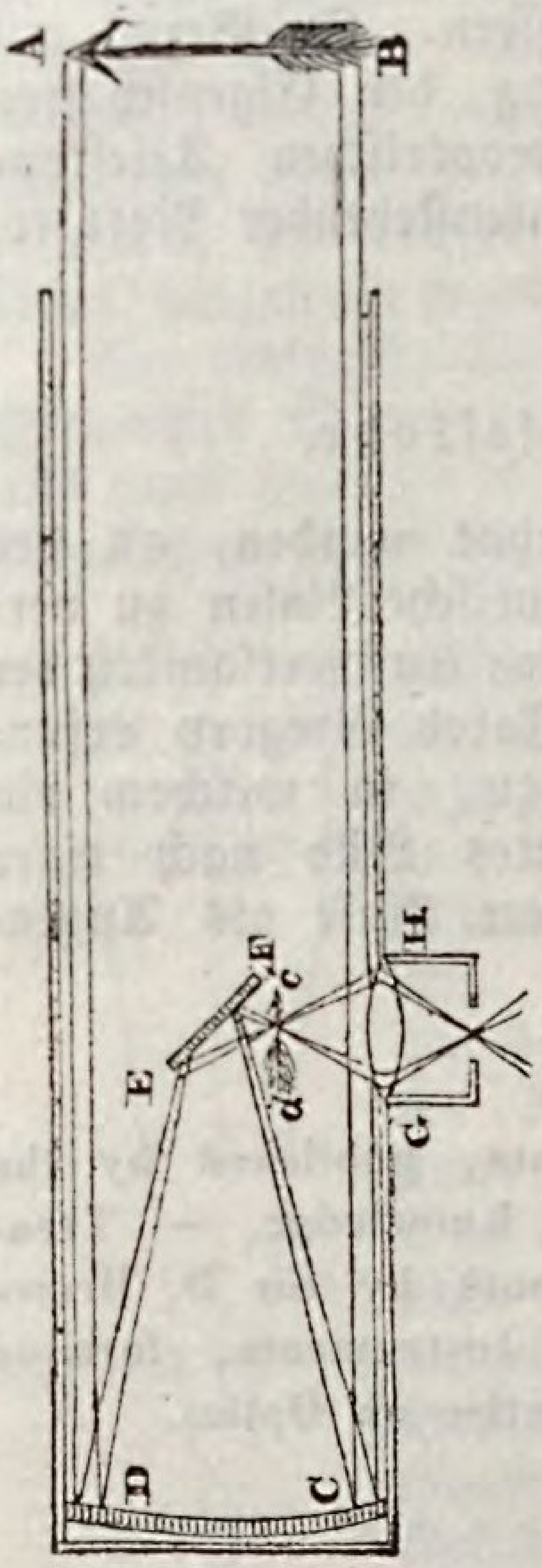
Fernröhre ist bereits erwähnt worden, sowie auch die Methoden, solche Mängel zu verbessern. In Bezug auf die Beschreibung und Entwickelung der Eigenschaften verschiedener Modificationen der dioptrischen Teleskope müssen wir den Leser auf die in untenstehender Note erwähnten Werke verweisen*).

2. Reflexions-Teleskope.

Als Newton, wie bereits erwähnt worden, an der Entdeckung einer Methode, achromatische Linsen zu verfertigen, verzweifelte, wandte er seine Aufmerksamkeit der Verbesserung des vom Professor Jakob Gregory erfundenen katadioptrischen Fernrohres zu, in welchem ein mittels eines Hohlspiegels formirtes Bild nach einer zweiten Reflexion durch eine convexe Linse als Augenglas gesehen wird.

---

*) Treatise on Optical Instruments, published by the Society for the Promotion of Useful Knowledge. — Treatise on New Philosophical Instruments by Sir D. Brewster, 1813. Coddington on Optical Instruments, forming the second part of his enlarged Treatise on Optics.

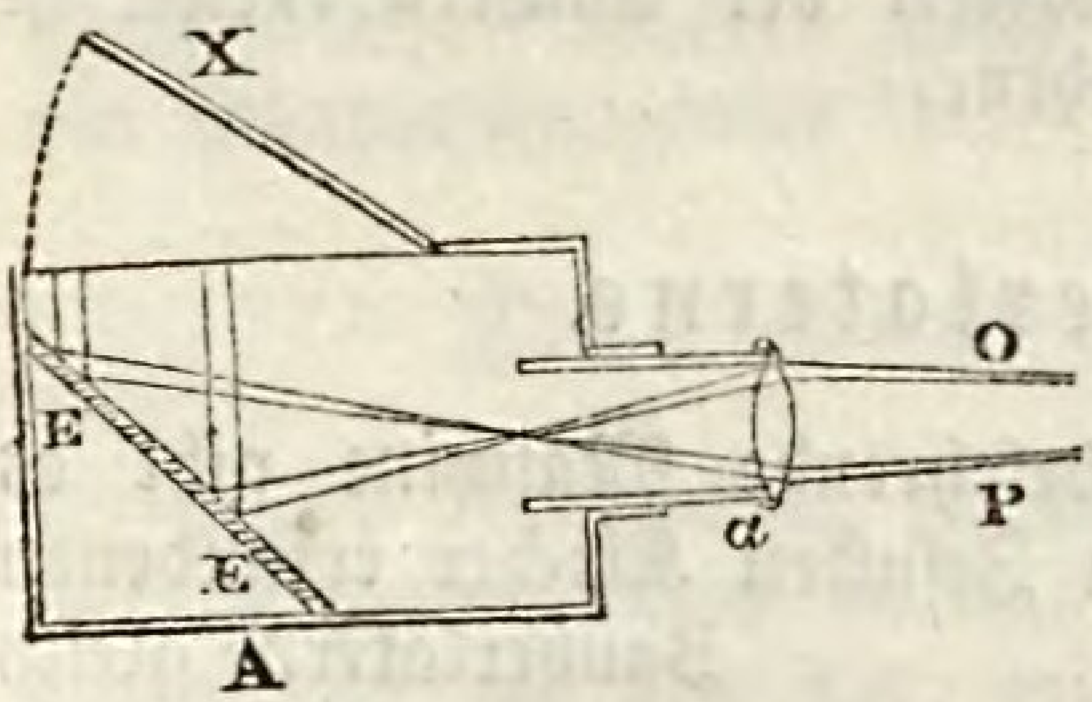


Die nebenstehende Figur zeigt den allgemeinen Bau und die Wirkung eines Newton'schen Spiegelteleskops, worin der metallische Hohlspiegel **CD** die Strahlen, die von dem Gegenstande **AB** ausgehen, empfängt, sie convergiren macht, und dadurch ein umgekehrtes Bild auf dem Planspiegel **EF**, der in einem Winkel von 45 Graden geneigt ist, hervorbringt; dieses Bild wird nach **DC** am Focus der Linse oder das Augenglas **GH** reflectirt, und durch die Öffnung vor demselben von dem Beobachter gesehen. In dem ursprünglichen, oder gregorianischen Fernrohr sieht man das Bild, indem man nach dem Gegenstande sieht, wie bei dem Refractionsteleskop; auch gibt es andere Modificationen dieses Instrumentes, wie z. B. die von Cassegrain und Herschel, deren beschreibende Erklärung in den Werken enthalten sind, die in der letzten Note citirt worden sind.

Die Camera obscura.

Die Art, wie Bilder in einer Camera obscura (Finstergemach) hervorgebracht werden, ist schon beschrieben worden; es gibt jedoch ein Instrument in tragbarer und zu unmittelbarem Gebrauche angepaßter Form, welches denselben Namen führt, da seine Wirksamkeit von der Anwendung desselben Grundsatzes abhängt. Es gibt verschiedene Modificationen der tragbaren Camera obscura,

wovon die in nachstehender Figur dargestellte zu den bequemsten gehört.



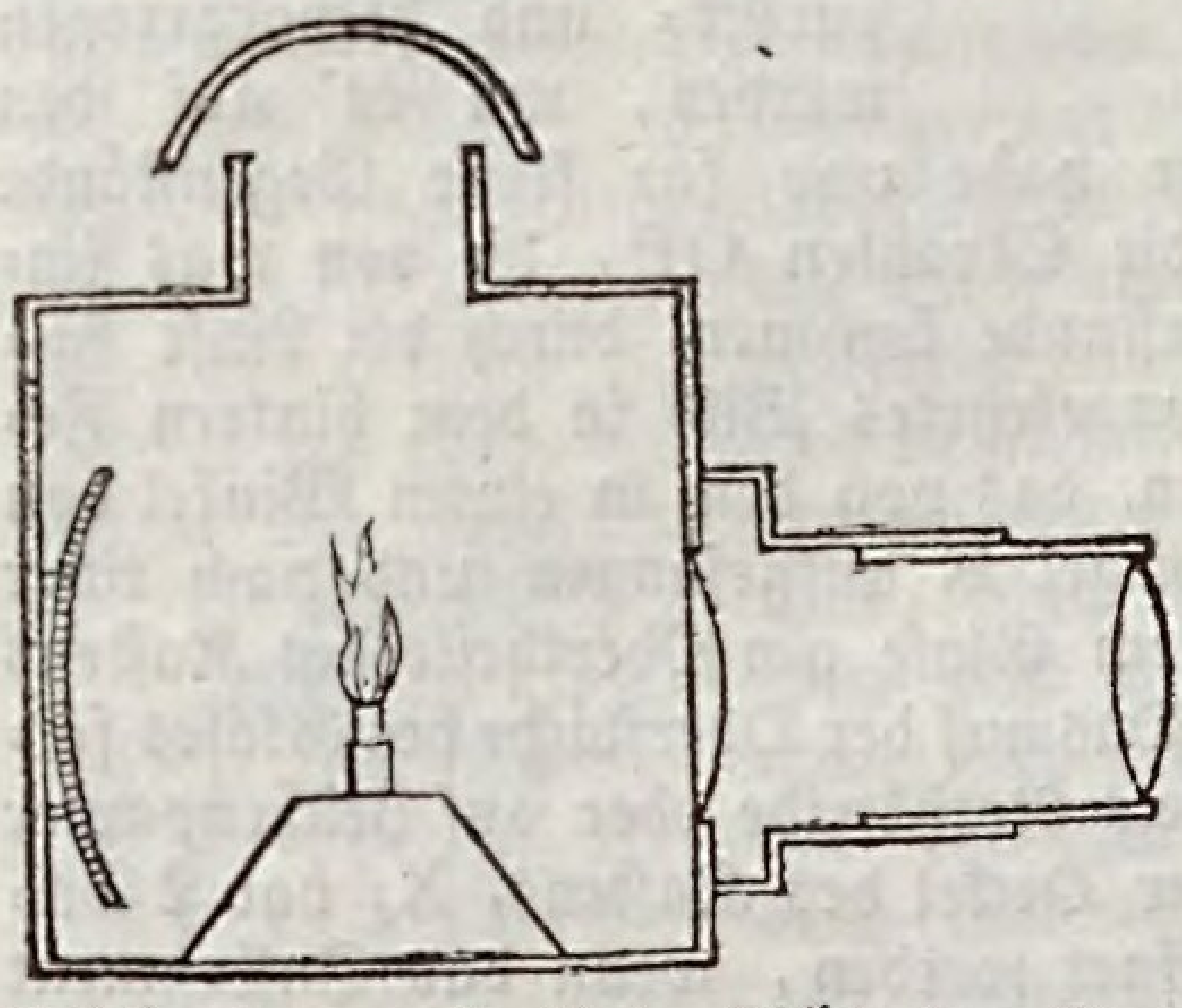
Sie besteht aus dem Kasten A mit einer runden Oeffnung vorn, in welche das kurze, in ihrer Extremität mit einer convexen Linse versehenen Röhre a paßt. Dieses Rohr kann zurück- und hervorgezogen werden, um es auf den geeigneten Punkt für nahe und für ferne Gegenstände zu richten. Indem die Strahlen OP, die von was immer für einem Gegenstande kommen, durch die Linse fallen, werden sie ein umgekehrtes Bild in dem hintern Focus der Linse formiren, das von dem in einem Winkel von 45° geneigten Planspiegel E aufgefangen und nach einer Platte von geschliffenem Glase am Obertheile des Kastens zurückgestrahlt wird. Das auf der Oberfläche des Glases formirte Bild kann mittels Rothkreide oder auf Zeichenpapier abgerissen werden. Der Deckel des Kastens, X, hat 2 Seitenflügel, welche geöffnet werden, wenn das Instrument gebraucht wird, um das überflüssige Licht auszuschließen und dadurch den Bildern Deutlichkeit zu geben.

Die von Dr. Wollaston erfundene Camera lucida ist ein in ihren Wirkungen der vorigen ähnliches Instrument, jedoch von kleinerem Umfange, und ist daher zu vielen Zwecken sehr bequem, z. B. zum Zeichnen verschiedener entfernter Gegenstände, und zum Copiren oder Verkleinern von Zeichnungen. Die Camera lucida besteht im Wesentlichen aus einem viereckigen Glasprisma, durch welches die Strahlen eines Gegenstandes zweimal reflectirt werden und auf einer unten angebrachten Ebene ein Bild formiren. Dieses Prisma ist horizontal einer Achse angepaßt, auf welcher sie sich dreht, um in die gehörige Lage gebracht zu werden; auch sind auf dem messingenen Rohre des Instruments gewöhnlich zwei Lin-

sen angebracht, eine concave und eine convexe, jene zum Gebrauche kurzsichtiger, diese zum Gebrauche langsichtiger Personen. Die beste Modification der Camera lucida ist die vom Signor Amici erfundene.

Die Zauberlaterne.

Als unterhaltende und belehrende Maschine gibt es kaum eine, die der von dem Jesuiten Kircher erfundenen Zauberlaterne gleich käme. Sie besteht aus einem viereckigen Kasten von Zinn, welcher eine Lampe enthält, hinter der sich ein metallischer Hohlspiegel befindet; vor der Lampe ist eine planconvexe Linse angebracht, welche auf ihrer ebenen



Fläche das reflectirte Licht der Lampe empfängt und es auf den Gegenstand concentrirt, der durch eine zweite Linse vergrößert wird, die in das Ende eines vor der Laterne vorragenden Rohres paßt. Die Gegenstände sind auf dünne Glasplatten gemalt, welche durch eine enge Öffnung in dem Rohre zwischen die beiden Linsen hineingeschoben werden können. Das Rohr muß doppelt sein, und sich eines in dem andern bewegen, sodaß das Rohr, welches die äußere Linse trägt, hin- und zurückgeschoben werden kann, bis sich der Gegenstand in dem Nebenfocus dieser Linse befindet. Wenn die Laterne nun gegen eine senkrechte Wand gewendet wird, zeigt sich ein vergrößertes Bild; je mehr die Laterne entfernt ist, desto größer wird auch das Bild sein; ist die Entfernung jedoch zu beträchtlich, so wird es undeutlich.

Mittels einer solchen Zauberlaterne in großem Maßstabe kann man Gespenster ꝛc. erscheinen lassen. Solche Vorstellungen werden öfter in Städten gezeigt und heißen Phantasmagorien *).

Das Sonnenmikroskop.

Dieses Instrument unterscheidet sich von der Zauberlaterne hauptsächlich in den durch dasselbe gezeigten Gegenständen und der Art, wie sie erleuchtet werden. Dieser Zweck wird erreicht, wenn man durch eine Linse, die in dem Fensterladen eines verdunkelten Zimmers angebracht ist, die Sonnenstrahlen eindringen läßt; die Sonnenstrahlen werden jedoch auf einem schief angebrachten Spiegel aufgefangen, damit sie horizontal auf die Linse geworfen werden. Der Gegenstand wird wie in dem gemeinen Mikroskop zwischen diese Linse und eine andere kleinere geschoben und das so formirte vergrößerte Bild auf einer Wand aufgefangen, wie bei der Zauberlaterne.

Georg Adams, ein ausgezeichneter Optiker, hat ein Instrument erfunden, welches er Lucernalmikroskop nennt, und das so gebaut ist, daß die Gegenstände mittels des Lichtes einer Lampe erhellt werden, diese Art von Mikroskop mithin stets gebraucht werden kann. Man hat neuerlich, um äußerst kleine Gegenstände, außerordentlich vergrößert zu sehen, das glänzende Licht, welches durch die Verbrennung von Oxygen und Hydrogen auf Kalk hervorgebracht wird, verwendet. Die öffentlichen Blätter haben die erstaunlichen Wirkungen dieses Mikroskops, das in London und Paris gezeigt worden ist, berichtet.

*) Von φάντασμα, Gespenst, und ἀγορα, Versammlung.

Es gibt außer den bereits erwähnten mehre interessante und wichtige Eigenschaften des Lichts, wie die doppelte Brechung, die Interferenzen des Lichtes, die Farben dünner Platten von durchsichtigen Substanzen, und die Polarisirung des Lichtes, von deren ausführlicher Darstellung wir durch die engen Grenzen, welche diesem Werke gesteckt sind, abzustehen gezwungen sind. Über die doppelte Brechung und Polarisirung des Lichtes fühlen wir uns jedoch gedrungen, Einiges zu sagen, um dem Leser einen allgemeinen Begriff von diesen merkwürdigen Erscheinungen beizubringen, von welchen gesagt ist, „daß sie als die Grundlage der glänzendsten Speculationen, welche je die Annalen der Wissenschaften zierten, betrachtet werden mögen; von Speculationen, welche nicht blos die Erscheinungen des Lichtes und des Sehens betreffen, sondern die den Menschen mit neuen Empfindungsfähigkeiten versehen, welche für das Gefühl (touch) sind, was das Mikroskop für das Gesicht ist, und seinem Anblick Wunder der Natur erschließen, deren Entschleierung sie jeder andern Gewalt verweigern würde.“

Die doppelte Brechung ist diejenige Eigenschaft gewisser transparenter Körper, vermöge welcher die Lichtstrahlen, die durch dieselben gehen, zweimal gebrochen werden, und die durch sie gesehenen Gegenstände zwei Bilder formiren.

A	B	C	D
.	o	|	—

Diese Art der Brechung läßt sich mittels einer kleinen Platte von Kalkspath oder krystallisirtem kohlensaurem Kalk zeigen, die nicht dicker ist als ein Viertelzoll. Wenn eine Glasplatte über die obenstehenden Figuren gelegt wird, so wird jede dem nackten Auge nur einzeln erscheinen; wenn man aber eine Platte von Kalkspath

über eine der Figuren legt, so gewahrt man ein doppeltes Bild, also zwei Punkte, zwei Cirkel, zwei Striche statt einen. Die Entfernung zwischen den zwei Bildern hängt von der Dicke der Platte von Kalkspath ab. Ist sie einen Viertelzoll dick, so werden die beiden Bilder so nahe erscheinen, daß sie wie die Zahl 8 aussehen. Es gibt aber noch einen Umstand, der auf die relative Trennung der Bilder Einfluß hat, und dieser ist die Lage der Platte: denn wenn man sie flach auf den Papierbogen legt und sie horizontal umdreht, so wird sich eines der Bilder um das andere wälzen, sodaß der Kreis in der einen Stellung aussehen wird wie 8 und in der andern wie ∞; und die Linien werden sich einander nähern und von einander entfernen, nach Maßgabe als die Platte umgedreht wird.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen mag angeführt werden, daß ein Lichtstrahl, wenn er in den durchsichtigen Kalkspath eintritt, in zwei Theile getheilt wird, wovon der eine dem ordentlichen Gesetz der Brechung folgt, nämlich im Verhältnisse des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechwinkels, während der andere eine gesonderte Brechung erleidet, nach einem neuen und außerordentlichen Gesetze. Eine beträchtliche Anzahl krystallinischer Substanzen besitzen dieselben Eigenschaften, jedoch mit einigen Abänderungen, die von ihrer eigenthümlichen Structur abhangen. Schwefelsaurer Kalk, Schwerspath, Borax, Alaun, Turmalin und Quarz gehören zu den Körpern, welche die Lichtstrahlen doppelt brechen. Diese Eigenschaft wurde jedoch zuerst im Kalkspath von dem dänischen Naturforscher Erasmus Bartholin gegen das Ende des siebzehnten Jahrhunderts entdeckt, insbesondere von dem berühmten Huygens erforscht, und dieser Gegenstand hat in unsern Zeiten ein besonderes Interesse wegen seines innigen Zusammenhanges mit der Polarisirung erhalten.

Was die Natur der Polarisirung des Lichtes betrifft, haben wir nur Raum für Sir David Brewster's

kurzen Bericht über die Entdeckung dieser Eigenschaft des Lichtes, welche von Malus, Oberst des kaiserlich französischen Ingenieurcorps, gemacht wurde. Dieser Naturforscher gab im Jahre 1810 eine sehr werthvolle Abhandlung über die doppelte Brechung heraus, womit er den Preis gewann, der für den Verfasser der besten Schrift über diesen Gegenstand von dem französischen Institute ausgesetzt worden war.

„Nachdem Herr Malus zufällig ein doppelt brechendes Prisma gegen die Fenster des Palastes von Luxemburg umdrehte, welche aber von der untergehenden Sonne erleuchtet wurden, bemerkte er zu seiner Überraschung, daß eines der doppelten Bilder der Fenster während der Umwälzung des Prisma's abwechselnd verschwand, und nach mehrfachem fruchtlosem Sinnen über die Ursache dieser seltsamen Erscheinung wurde er zu der großen Entdeckung geführt: daß das Licht, welches zu einem gewissen Winkel von durchsichtigen Körpern reflectirt wird, polarisirt werde, gleich einem der Strahlen, welcher durch die doppelte Refraction hervorgebracht wird. Dieses merkwürdige Ergebniß öffnete den Untersuchungen der Naturforscher ein weites Feld, und die Arbeiten des Malo, Arago, Biot, Fresnel und Cauchy in Frankreich, Seebeck's und Mitscherlich's in Deutschland, Young's, Herschel's und Airy's in England, haben zu einer Reihe von Forschungen geführt, „Herrlicheres als welche," wie ein ausgezeichneter Philosoph sagt, „seit der Entdeckung des wahren Systems des Weltalls nichts die Annalen der Naturwissenschaft geziert hat"*).

---

*) Bericht über die neuern Fortschritte der Optik, von Sir D. Brewster, in **Report of the British Association for 1832, p. 314.** Siehe ferner: Die Abhandlung über doppelte Brechung und Polarisation des Lichtes, welche die (englische)

Gesellschaft zur Verbreitung nützlicher Kenntnisse herausgegeben hat; dann Sir John Herschel's **Essay on Light** in der **Encyclopaedia Metropolitana**, wovon eine französische, mit Noten von Verhulst und Quetelet bereicherte Übersetzung zu Paris erschienen ist.

Druck von F. A. Brockhaus in Leipzig.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Sporschil, Johann,

Anleitung zum Selbststudium der Optik

Leipzig 1839

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.67-d#6
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763698-9